Das Farbenunterscheidungsvermögen der Ellritze.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde einer Hohen Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Georg August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Hans Wolff

aus Altona (Elbe).

Göttingen 1925.

Referent: Professor Dr. Kühn.

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Juli 1925.

Die vorliegende Arbeit ist in der „Zeitschrift für vergleichende Physiologie“ 3. Band, 3. Heft, erschienen.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

DAS FARBENUNTERSCHEIDUNGSVERMÖGEN DER ELLRITZE.

Von

HANS WOLFF.

(Aus dem Zoologischen Institut zu Göttingen.)

Mit 28 Textabbildungen.

(Eingegangen am 5. August 1925.)

Inhalt.

Seite

Fragestellung 280
I. Die Versuchsmethode 280
1. Material 280
2. Versuchsanordnung 281
3. Beschreibung eines Versuchs 283
4. Protokollführung 284
II. Einfluß der Methode auf die Reaktionen der Tiere 284
1. Gegendressur auf Einzelstreifen 284
2. Die Bedeutung der „Lage" der Farbstreifen bei Darbietung der Spektralleiter 285
3. Einfluß des Einzeltieres 286
Die verschiedene Reaktionshäufigkeit 286
Die verschiedene Reaktionssicherheit 287
Die verschiedene Empfindlichkeit für Lichtreize 289
III. Einfluß des Helligkeitsreizes auf das Verhalten gegen Farbreize . . 289
1. a) Dressurversuch auf relativ größere Helligkeit bei Darbietung zweier verschiedener Farbreize verschiedener Intensität . . 290
b) Dressur auf verschiedene Intensitätsstufen unzerlegten Lichtes 290
c) Einfluß des Helligkeitsreizes bei gleichzeitiger Darbietung benachbarter Farbstreifen von verschiedener Intensität 291
d) Einfluß des Helligkeitsreizes in den normalen Dressurkurven 293
2. Das Problem der Helligkeitsverteilung im Spektrum 294
IV. Die Dressurfarbkurven des prismatischen Spektrums 295
1. Rot 295
2. Gelb 301
3. Grün 301
4. Blau 306
5. Violett 311
6. Ultraviolett 313
V. Die Empfindlichkeit für Wellenlängenunterschiede im Spektrum . . 317
1. Die σ-Werte der Kurven 318
2. Die Lage der Mittelwerte der Kurven 320
VI. Das Problem des Farbenkreises 323
Anhang: Über das Gedächtnis für Farbeindrücke 327
Zusammenfassung der Ergebnisse 328
Literaturverzeichnis 328

Fragestellung.

Durch die Untersuchungen einer Reihe von Forschern, in erster Linie von K. v. Frisch (2—6), Burkamp (1) und Schiemenz (15), ist nachgewiesen worden, daß die Fische Farbensinn besitzen[1]). Die einwandfreiesten und weitgehendsten Ergebnisse hat Schiemenz mit der, zuerst von Kühn und Pohl (11—13) bei Bienen angewandten, Methode der Dressur auf Spektrallichter erhalten. Er fütterte Ellritzen und Stichlinge mit Regenwurmstückchen an einem weißlackierten Stab in dem Licht eines streifenförmigen Spektralausschnittes, den er durch einen Blendschirm aus einem kontinuierlichen Bogenlampenspektrum herausschnitt. Nach vollendeter Dressur schnappte der Fisch, wenn der Stab ohne Futter in der Dressurfarbe oder auch diese allein ohne Stab geboten wurde. Wurde statt der Dressurfarbe (z. B. Gelb) eine Nachbarfarbe (z. B. Rot oder Grün) dargeboten, so sprang sie der Fisch häufig auch an. Die Nachbarfarben werden aber von der Dressurfarbe doch unterschieden; denn bei zunehmender Dressurdauer und höherem Sättigungsgrade werden die Nachbarfarben vernachlässigt, so daß ein Zeitpunkt erreicht werden kann, in dem nur noch auf die Dressurfarbe eine Reaktion eintritt. Ferner suchten die Ellritzen aus dem ganz dargebotenen kontinuierlichen Spektrum die Dressurfarbe heraus und sprangen bei ihr empor. So konnte Schiemenz nachweisen, daß von der Ellritze Rot, Gelb, Grün, Blau, Violett und Ultraviolett unabhängig von der Intensität der Farben unterschieden wurden.

Die vorliegende Untersuchung sucht die weiteren Fragen zu beantworten: 1. Unterscheidet der Fisch innerhalb des Spektrums noch feinere Abstufungen von Wellenlängen? 2. Besteht für den Fisch wie für den Menschen ein geschlossener Farbenkreis, d. h. haben für ihn die Wellenlängen des kurzwelligen Spektralendes eine ähnliche Wirkung wie die des langwelligen Spektralendes?

Herrn Professor Kühn sage ich für die Überlassung dieser Arbeit und für seine Hilfe bei ihrer Durchführung meinen herzlichen Dank. Ebenso danke ich den Herren Dr. Kuhn, Dr. Kröning und Dr. Henke für freundliche Unterstützung. Die Apparatur, mit der die Versuche durchgeführt wurden, verdanken wir der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft.

I. Die Versuchsmethode.

1. Material.

Zu den Versuchen wurden nur Ellritzen (*Phoxinus laevis*) verwandt, deren Eignung zu diesem Zweck Schiemenz erprobt hatte. Es wurden im ganzen 54 Tiere dressiert. Die Fische wurden einzeln in Glasgefäßen von 15×20 cm Fläche und 15—20 cm Höhe gehalten. Das Material

[1]) Vgl. die Literaturübersicht bei Schiemenz.

stammte fast nur aus Göttingen; 5 Tiere (Nr. 7—11) habe ich aus Altona mitgebracht. Ferner übernahm ich 5 dressierte Ellritzen (Nr. 1, 3—6) von Herrn Dr. SCHIEMENZ. Bei den Tieren 3 und 6 war die Dressur auf für meine Zwecke zu breite Wellenlängenbezirke erfolgt, so daß die Reaktionen dieser Tiere im Zahlenmaterial fortgelassen wurden, während die der 3 übrigen Verwendung finden konnten.

Die Ellritzen waren durchweg sehr brauchbar. Ich verwendete Tiere von verschiedenem Alter, und zwar 27 Tiere von über 4 cm Länge, 26 darunter; jene seien kurz „alte Tiere", diese „junge" genannt. Die kleinsten Exemplare mochten 2,5—3 cm Länge haben; sie zeigten keine phototaktischen Reaktionen mehr.

Der Gesundheitszustand war durchweg gut; ich erneuerte sehr oft das Wasser, da Wasserpflanzen und Schnecken bei den Versuchen störten und nicht gehalten wurden. Die Ellritze ist sehr sauerstoffempfindlich; ihre Reaktionsweise hing sichtlich von der Beschaffenheit des Wassers ab.

Die Gefäße deckte ich wie SCHIEMENZ mit Drahtgaze zu, um das Herausspringen der Tiere zu verhindern. Als Futter dienten kleine Stücke Regenwurm, die die Tiere immer gern fraßen.

2. Versuchsanordnung.

Die Methode, die zur Anwendung kam, beruht auf dem Fehlerprinzip. Eine Anzahl von verschiedenen schmalen Wellenlängenbezirken, unter denen stets die Dressurwellenlänge ist, wird dem Fisch gleichzeitig dargeboten; es wird festgestellt, wie häufig er jeden der Wellenlängenbezirke anspringt. In dieser Weise wurden für die verschiedenen Dressurwellenlängen *Fehlerkurven* erhalten.

Die Versuchsanordnung stimmt, abgesehen von der Prüfung mit der Spektralleiter, mit der von SCHIEMENZ angewandten weitgehend überein. Kohlebogenlampe, Kondensor, Spalt (konstant 1,5 mm breit), Linse und geradsichtiges Prisma sind in fest eingehaltenen Abständen auf einer Schiene befestigt; diese ist auf einem fahrbaren Gestell montiert und in horizontaler wie auch vertikaler Richtung beliebig einstellbar. Für meine Versuche war sie in einer schwach nach vorn unten geneigten Ebene eingestellt, so, daß der Lichtstrahl schräg von oben ins Versuchsgefäß fiel. Die Gefäße standen in einer Reihe entlang dem Fenster des nach Norden gelegenen Versuchszimmers. Der obere Teil des Fensters war zugedeckt, während durch den unteren auf den Versuchstisch das Tageslicht einfiel. Das Zimmer war folglich im Halbdunkel, die Gefäße mit den Fischen befanden sich in gedämpftem Tageslicht. Die Versuche wurden nur bei Tage durchgeführt.

Durch Proben bei völlig verdunkeltem Zimmer stellte ich fest, daß die Farbschwelle der angewandten Lichter für die Ellritze etwa so tief liegt wie die unsrige; v. FRISCH (8) fand sie durchschnittlich etwas

höher als beim Menschen. Burkamp (1923, S. 163) und Schiemenz (1924, S. 192) haben bei Ellritzen gleichfalls annähernde Übereinstimmung mit dem menschlichen Auge festgestellt. *Die Helladaptation des Fischauges ist bei meinen Versuchen gesichert.*

Die Tageslichtverhüllung der Farben wurde durch einen schwarzen Karton vermindert, der die hintere Hälfte des Gefäßes, etwa bis zur Höhe des Wasserspiegels herunterreichend, umgab. Die Beleuchtung hing bis zu gewissem Grade von der Witterung ab; an sehr hellen Tagen dämpfte ich sie mittels vor das Fenster gestellter Kartons, an sehr dunklen ließ ich mehr Licht ein. Eine Abhängigkeit der Reaktionen der Fische von der Witterung habe ich nicht beobachtet.

Die Entfernung zwischen Lampe und Versuchsgefäß war immer gleich; entlang einer mit Kreide auf dem Fußboden gezogenen Linie ließ sich der Apparat schnell parallel zu der Reihe der Gefäße verschieben. Dadurch wurde erreicht, daß die mittleren Lichtstrahlen des Grün parallel zur längeren Gefäßwand einfielen. Die extrem langwelligen und kurzwelligen Strahlen weichen infolge der prismatischen Dispersion unbeträchtlich von diesem Einfallswinkel ab, der streng innegehalten wurde. Die Lichtstrahlen trafen meist bereits den oberen Rand der Vorderwand des Gefäßes und erreichten den Wasserspiegel vor der Hinterwand, an der sie als fest umrissene schmale Farbstreifen erschienen.

Zur Erzeugung fester Wellenlängenausschnitte aus dem Spektrum benutzte ich einen Karton, aus dem ich 10 vertikale Streifen von 0,5 cm Breite, 10 cm Länge im Abstand von 1 cm (von Mitte zu Mitte der Streifen) ausschnitt. Derselbe wurde wie der Blendschirm bei Schiemenz vor das Versuchsgefäß gestellt. Auf diese Weise wurde eine „*Spektralleiter*" von jeweils 10 Wellenlängenabschnitten erzeugt, deren Gesamtbreite 10 cm betrug. Die Hälfte der auf dies Quadrat (10·10) fallenden Strahlen wurde also hindurchgelassen. Auf diese Weise wurde eine bestimmte Reihe von Streifen aus dem ganzen verwendeten Spektrum herausgeschnitten (vgl. Kurve 22). Mit einem in ein Stativ gespannten Winkelschen Spektroskop mit Wellenlängeneichung wurde für jeden Abschnitt der Wellenlängenbereich festgestellt und aus mehreren Ablesungen für denselben Streifen die mittlere Wellenlänge bestimmt. Alle Wellenlängenangaben in dieser Arbeit bezeichnen die so ermittelte mittlere Wellenlänge in einem bestimmten Spektralbereich[1]). Zur raschen Einstellung der betreffenden Wellenlängen bei der großen Anzahl nötiger Versuche (insgesamt weit über 2000 Versuche) benutzte ich den schmalen Gelbbezirk des Spektrums (600 bis 580 $\mu\mu$) als Ausgangsstreifen, von dem aus mittels Maßstabs eine bestimmte Wellenlänge schnell eingestellt werden konnte, da die Aus-

[1]) In Tabellen und Kurven auf ganze Zahlen abgerundet angegeben.

dehnung des Spektrums konstant war. Dies Verfahren war in genügender Genauigkeit durchführbar, wie wiederholte Kontrolle mit dem Spektroskop zeigte. Nötig waren demnach für jeden einzelnen Versuch: genaue Einhaltung der Abstände zwischen Apparat und Versuchsgefäß, Kontrolle des Einfallwinkels und sorgfältige Einstellung durch Auge und Maßstab.

Die Dressur erfolgte jeweils auf einen Farbstreifen; zu dem Zwecke setzte ich vor den Karton mit dem Gitter einen zweiten, der von den zehn Streifen alle bis auf einen abdeckte. Für die statistische Bearbeitung der Verteilung der Sprunganzahlen auf die verschiedenen gleichzeitig dargebotenen Spektralstreifen wurde jeder Streifen als „Klasse" behandelt (Zählung: Klasse 1—24).

3. Beschreibung eines Versuchs.

Der Fisch wurde die erste Zeit bei der ihm bestimmten Dressurwellenlänge gefüttert. Ich hielt ein Stückchen Regenwurm an einem weiß lackierten Stabe hinten im Farbstreifen bis dicht an die Wasseroberfläche herab; das Tier lernte sehr bald, oft nach einer Fütterung, nach dem Stab zu springen; mehr oder weniger schnell gelang es ihm, den Brocken zu haschen. Nach kurzer oder längerer Zeit genügte die Darbietung der Dressurfarbe, um heftige Reaktionen zu veranlassen. Der Fisch sprang unermüdlich am Hinterrand hoch, da, wo der Farbstreifen lag. Erfolgte diese Reaktion sicher, so war die Dressur vollendet.

Alsbald bot ich dem mäßig hungrigen Tier die Spektralleiter, wobei ich die Dressurfarbe etwa in den 5. oder 6. Streifen legte, so daß sich an sie ungefähr gleich viel Farbstreifen zu beiden Seiten anschlossen. Der Fisch fand „seine" Farbe mehr oder minder sicher heraus und sprang sie sowie die für unser Auge ähnlichen Farbtöne heftig an. Meist schwamm er nach einem Sprung von den Farbstreifen weg, kehrte aber bald zurück, um erneut zu springen. Der Versuch ging fort, bis das Tier gar nicht mehr oder nur noch sehr selten sprang; es schwamm dann unruhig umher und an den Farbstreifen entlang oder suchte am Grunde nach abgesunkenen Futterbrocken. Dann fütterte ich es bei seiner Dressurfarbe, stets unter Abdeckung sämtlicher anderer Wellenlängen. Nur bei wenigen sehr trägen Fischen bot ich nach schwacher Fütterung bisweilen nochmals die Spektralleiter, da ich hierdurch manchmal noch Reaktionen erzielte.

Damit ist ein „Versuch" beendet. Die Beendung wurde also nur von dem Zeitpunkt des Aufhörens von Reaktionen abhängig gemacht. Die Zeitdauer eines derartigen Versuches beträgt im Durchschnitt wohl 8—10 Minuten, im Höchstfall etwa 30 Minuten. Zwischen zwei Versuchen mit demselben Tier liegt meist 1 Tag, im Mindestfall 6 Stunden.

Unter 1 Versuch wird im folgenden stets eine solche Untersuchung, wie sie eben geschildert wurde, verstanden.

4. Protokollführung.

Als Reaktion zählte ich nur den Sprung, die schnelle stoßartige Bewegung aus dem Wasser heraus.

Fast alle Sprünge erfolgten an der Hinterwand des Gefäßes; nur selten, aber bei den einzelnen Tieren verschieden oft, sprangen die Fische auch an der Vorderwand nach den Farbstreifen; ich zählte diese Reaktionen (nur im Rot nicht, wo die Sprunghäufigkeit ohnehin sehr hoch war) zur Erhöhung der Sprunganzahl mit; sie machen aber insgesamt kaum 5 vH. der Gesamtzahl der Reaktionen aus.

Für besondere Fälle unter den Reaktionen wurden folgende Richtlinien eingehalten:

1. Sprang die Ellritze unmittelbar nacheinander einen Streifen an, so wurde nur 1 Sprung notiert; wiederholte sie, ohne dazwischen abzudrehen, die Sprünge noch öfters, so deckte ich mit einem Karton die Lichter für einen Augenblick ab; währenddes schwamm das Tier von dem betreffenden Platze ab. Auch in diesem Fall zählte ich nur 1 Sprung. So ging ich sicher, nur solche Reaktionen zu zählen, die auf Grund einer Wahl des Fisches erfolgten.

2. Zwei Sprünge an demselben Streifen, zwischen denen eine kleine Pause lag oder eine kurze Schwimmbewegung des Tieres, galten als 2 Reaktionen.

3. Oft schwimmt das Tier von der Seite an die Farbstreifen heran und springt dieselben so schräg an, daß zwei, manchmal sogar drei Streifen zugleich berührt werden. Der Betrag solcher „Schrägsprünge" an der Gesamtzahl der Sprünge ist bei den einzelnen Tieren sehr verschieden, bei alten höher als bei jungen. Sehr hungrige oder erregte, bzw. lebhafte Ellritzen weisen erheblich mehr schräge Sprünge auf als ruhige und träge oder mäßig hungrige Tiere. Immerhin überwiegen die nur 1 Streifen berührenden Sprünge sehr beträchtlich. Bei solchen Schrägsprüngen wurde allen berührten Streifen 1 Sprung zugezählt.

II. Einfluß der Methode auf die Reaktionen der Tiere.

1. Gegendressur auf Einzelstreifen.

Es zeigte sich, daß die dauernde Dressur auf Einzelstreifen die Häufigkeit der Reaktionen an der Spektralleiter vermindert; im Verlauf der Versuche sinkt die durchschnittliche Sprunghäufigkeit für 1 Versuch oft. Die Tiere werden immer schneller bei Darbietung der Spektralleiter träge; sobald aber der Dressurfarbstreifen (bzw. ein Nachbarfarbton) einzeln geboten wird, springt das Tier heftig hoch. Diese Gegendressur auf Einzelstreifen ist je nach der Veranlagung des Individuums verschieden wirksam. Schlechte Fütterung reizte oft, aber nicht immer, zur Reaktion an; so verliefen viele Versuche ergebnislos und einige begonnene Kurven blieben unvollendet. Als durchschnittliche

Versuchsanzahl zur Vollendung einer Kurve ergibt sich von insgesamt 51 Kurven 36,4 Versuche, wobei nur solche Versuche gezählt sind, in denen Reaktionen vorkamen. Die durchschnittliche Häufigkeit der Sprünge in einem solchen Versuch beträgt 21,1 Sprünge.

2. Die Bedeutung der Lage der Farbstreifen bei Darbietung der Spektralleiter.

Es mußte geprüft werden, ob die „Lage" der Farbstreifen bei Darbietung der Spektralleiter für den Ausfall der Reaktionen von Bedeutung ist. Erstens war der Einfluß der Lage des Farbstreifens im Gefäß, ferner der der Reihenfolge der Streifen nebeneinander zu untersuchen und zweitens zu prüfen, inwieweit die Anwendung verschieden dispergierter Spektrallichter, d. h. die Verschiedenheit im Wellenlängenabstand zwischen benachbarten Streifen Einfluß auf die Reaktionen hat.

1. Ein einfacher Versuch erwies, daß die Lage des Streifens im Gefäß gleichgültig ist, da die zufälligen Ortsbewegungen der Ellritze alle Farbstreifen mit gleicher Wahrscheinlichkeit erreichen. Einer auf einen Purpurstreif (Filterlicht) dressierten Ellritze wurden 10 gleichhelle und gleichfarbige Purpurstreifen nebeneinander geboten. Wie Tabelle 1

Tabelle 1. *Reaktionen einer Ellritze auf* 10 *Purpurstreifen.*

Streifennummer . . .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Sa.
Anzahl der Sprünge . .	22	22	21	24	24	24	24	22	29	25	237
„ „ „ in vH.	9,3	9,3	8,8	10,2	10,2	10,2	10,2	9,3	12,3	10,6	100,4

zeigt, ist die Anzahl der Sprünge auf den Einzelstreifen annähernd gleich.

Die Reihenfolge der Farbstreifen in der Spektralleiter wurde oftmals durch Umdrehung des Prismas umgekehrt; es trat keine Veränderung in den Reaktionen der Ellritzen ein.

2. Die Anwendung eines Prismenspektrums von wechselnder Dispersion, die von Rot bis Violett kontinuierlich zunimmt, bedingt, daß die Wellenlängenabstände zwischen je zwei benachbarten Streifen (= Klassen der statistischen Bearbeitung) nach den kürzeren Wellen hin abnehmen. Dieser Umstand ist insofern von Nachteil, als die Ellritze Schrägsprünge macht (etwa 10—40 vH. der Gesamtsprunganzahl einer Dressur). Der Schrägsprung wirkt auf die Streuung (σ) stark erhöhend ein; für ein Spektralgebiet wird diese aber natürlich um so weniger erhöht, je stärker es dispergiert ist, je weniger Wellenlängen zwischen 2 Streifen (= Klassen) liegen. Dadurch erhalten die Kurven in den langwelligen, gering dispergierten Gebieten eine relativ zu große Streuung, in den kurzwelligen dagegen zu geringe Streuung. Die Kurven der einzelnen Dressurwellenlängen haben demnach keine ganz gleiche

Versuchskonstellation. Da diese sich jedoch *stetig* mit der Dispersion ändert, hat dieser Umstand keinen wesentlichen Einfluß auf die Ergebnisse.

3. Einfluß des Einzeltieres.

Bei unseren Versuchen ist es nicht möglich, wie beim Menschen, die Unterschiedsempfindlichkeit desselben Individuums für alle Lichter des Spektrums zu prüfen. Die Zeitdauer der einzelnen Dressurversuche und die große Zähigkeit, mit der von den Fischen die Assoziation festgehalten wird, machen es unmöglich, von demselben Fisch nacheinander eine größere Anzahl von Kurven für verschiedene Dressurfarben zu erhalten. Es müssen also verschiedene Fische auf die verschiedenen Spektralbezirke dressiert werden. Dadurch werden die Resultate von individuellen Unterschieden der Reaktion abhängig, die möglichst ausgeschaltet werden müssen. Ich suchte das dadurch zu erreichen, daß ich zunächst die individuellen Verschiedenheiten des Verhaltens prüfte und dann stets mehrere Fische auf denselben Spektralausschnitt dressierte.

Individuell verschieden sind 1. die Reaktionshäufigkeit, 2. die Reaktionssicherheit und endlich 3. die spezifische Empfindlichkeit für Lichtreize.

a) *Die verschiedene Reaktionshäufigkeit.*

Es gibt gute und schlechte Springer, die ziemlich unabhängig vom Grade der Sättigung und von der Wellenlänge diese Eigenart wahren. Bisweilen zeigt sich aber auch ein Einfluß der Wellenlänge und ihrer Intensität. Im Ultraviolett fand sich kein guter Springer.

Wenn man die Sprungzahl in je 10 aufeinanderfolgenden Versuchen feststellt und die einzelnen Summen in zeitlicher Folge ordnet, ergeben sich Kurven, an denen sich drei Haupttypen unterscheiden lassen: solche mit 1. steigender, 2. sinkender und 3. wechselnder bzw. ziemlich gleichmäßiger Sprunghäufigkeit im Verlauf der Versuche (Tab. 2).

Tabelle 2. *Sprunganzahlen im Verlauf einiger Dressuren.*

Typ	Fisch-Nr.	Dressur λ	Versuch 1—10	Versuch 11—20	Versuch 21—30	Versuch 31—40	Versuch 41—50	Versuch 51—60	Versuch 61—70	Versuch 71—80	Versuch 81—90	Versuch 91—100	Versuch 101—110	Versuch 111—120	Versuch 121—130	Sprünge
1. Zunehmende Sprunganzahl	11	485 $\mu\mu$	97	116	198	224	182	324	298							„
2. Abnehmende Sprunganzahl	4	Purpur	176	133	129	102	75	48	86							„
3. Wechselnde Sprunganzahl	7	etwa 405 $\mu\mu$	79	75	101	81	46	54	129	72	68	103	85	46	54	„

Es ist auffällig, daß vornehmlich alte Ellritzen sinkende Zahlen der Sprunganzahl für 1 Versuch zeigen, während die jungen Tiere meist steigende Werte aufweisen (Tab. 3).

Tabelle 3. Sprunganzahlen im Verlauf der Dressuren bei alten und jungen Ellritzen.

Typ	Anzahl alter Tiere	davon vH.	Anzahl jung. Tiere	davon vH.
Zunehmende Sprunganzahl	8	27,6	15	71,6
Abnehmende Sprunganzahl	11	37,8	4	19,1
Wechselnde oder gleichmäßige Sprunganzahl.	10	34,6	2	9,5
Summe	29	100	21	100,2

Dasselbe zeigt sich auch in der durchschnittlichen Sprunganzahl für 1 Versuch; dieselbe beträgt bei 24 alten Tieren: 18,1 Sprünge, dagegen bei 25 jungen: 24,6 Sprünge für 1 Versuch. Die oben erwähnte *Gegendressur auf Einzelstreifen macht sich bei alten Tieren stärker bemerkbar.* Die erwachsenen Ellritzen lernen, nicht nur den bestimmtfarbigen Streifen, sondern auch seine Umgebung in die Assoziation aufzunehmen; ihre Assoziationsbildung ist schärfer als die der jungen, die leichter nach dem bestimmtfarbigen Gegenstand springen und nicht lernen, daß dieser nur bei Einzeldarbietung Futter verspricht.

Diese Verschiedenheit der Veranlagung der Ellritzen beeinflußt nur die Anzahl der Sprünge; die Form der Kurven erleidet infolge der verschiedenen Reaktionshäufigkeit der Tiere keine Beeinflussung.

b) *Die verschiedene Reaktionssicherheit.*

Die Reaktionssicherheit der Ellritzen ist verschieden; sie drückt sich in dem verschiedenen *Grad der Standardabweichung* für dieselbe Dressurwellenlänge aus.

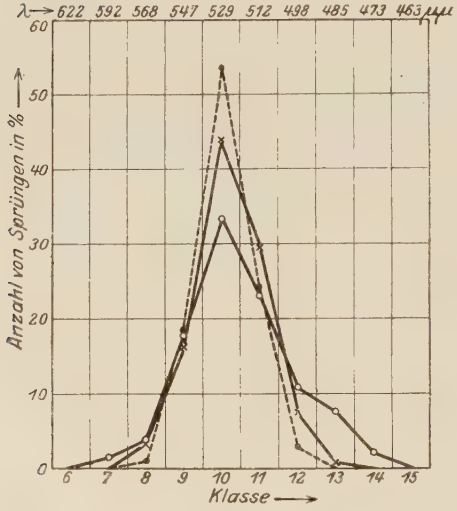
Auch die Sicherheit steht in einer *Beziehung zum Alter der Tiere*: junge Tiere springen sicherer als alte, die σ-Werte ihrer Kurven sind meist kleiner als die der erwachsenen Ellritzen. Das hat wohl erstens seinen Grund darin, daß für die kleinen Tiere die Farbstreifen relativ große Gegenstände sind; sie können nicht so weit springen wie die großen Ellritzen, für die die Wahrscheinlichkeit für Schrägsprünge größer ist. Die jungen Ellritzen zeichnen sich aber noch dadurch vor den alten aus, daß bei ihnen die Streuung im Verlauf der Dressur sinkt, daß die Dressurfarbe zunehmenden Besuch erhält.

Wenn die Sprünge von jeweils 10 Versuchen für jeden Streifen der dargebotenen Spektralleiter zusammengezählt werden, so gibt die zeitliche Folge der Werte ein Bild von den Schwankungen der Streuung.

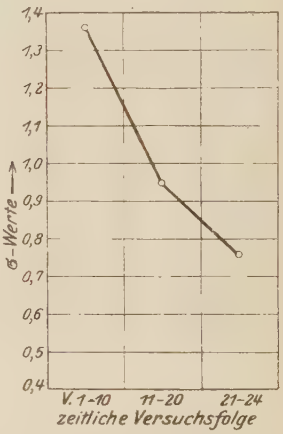
Berechnet man für die Resultate von je 10 Versuchen die σ-Werte und ordnet diese zeitlich, so erhält man eine *Sicherheitskurve* für die betreffende Dressur. Kurve 2 gibt den Verlauf derselben für die in Kurve 1 dargestellte Dressur wieder.

Tabelle 4. Dressurkurve mit *sinkenden* Werten der *Streuung*. [Zu Kurve 1.]
Fisch 37, *jung*, Dressurstreifen = 529 $\mu\mu$. n (Anzahl der Sprünge) = 533.

Wellenlänge . .	622	592	568	547	529	512	498	485	473	463	$\mu\mu$	σ
Versuche 1—10	0	1,6	3,8	17,8	33,3	23,1	10,8	7,5	2,2	0	Sprünge vH.	1,36
„ 11—20	0	0	3,2	16,3	44,0	29,4	7,3	0,8	0	0	„	0,95
„ 21—24	0	0	1,0	18,2	53,5	24,3	3,0	0	0	0	„	0,76



Kurvenabb. 1. (Vergl. Tab. 4). Fisch 37. Dressurfarbe: 529 $\mu\mu$ = Kl. 10.



Kurvenabb. 2 (vergl. Tab. 4 und Kurve 1). Fisch 37. Dressurfarbe: 529 $\mu\mu$ = Kl. 10.

Tabelle 5. Dressurkurve mit *schwankender Streuung*.
Fisch 11, *alt*. Dressurfarbe = 485 $\mu\mu$. n = 1556.

Wellenlänge . .	568	547	529	512	498	485	473	463	454	446	$\mu\mu$	σ
Versuche 1—10	2,1	9,4	19,6	12,4	24,7	23,7	5,1	1,1	0	2,1	Sprünge vH.	1,99
„ 11—20	4,3	4,3	6,9	15,5	22,4	22,4	18,1	3,4	0,9	1,7	„	1,82
„ 21—30	1,0	3,5	6,1	15,1	22,7	33,3	15,1	3,0	0	0	„	1,58
„ 31—40	1,3	6,3	11,2	17,4	25,9	29,9	4,9	0	1,3	1,8	„	1,60
„ 41—50	3,8	10,4	12,7	12,7	18,1	26,4	11,0	2,8	0,6	1,7	„	1,94
„ 51—60	3,7	8,0	14,5	16,6	23,2	24,1	7,1	0,9	0,6	1,2	„	1,78
„ 61—70	1,7	6,0	8,8	9,7	21,8	32,5	15,1	3,7	1,0	0	„	1,64

Bei keinem alten Tier zeigt sich im Lauf der Dressur dauernd sinkende Streuung, vielmehr behält sie für die erwachsenen Ellritzen ziemlich den gleichen Betrag oder schwankt um einen Mittelwert (Tab. 5). Das Vermögen, die Assoziation zu präzisieren, ist also bei alten und jungen Tieren verschieden. *Bei jungen Ellritzen steigert sich die Schärfe der Einprägung einer Farbe schlechthin als solcher, während für alte Tiere die repräsentative Wirkung des betreffenden Farbreizes zunehmend von der Situation der Darbietung desselben abhängig wird,* wie die stärkere Wirksamkeit der Gegendressur auf Einzelstreifen für sie zeigt. Im ersten Fall wird σ, im zweiten n der Kurven beeinflußt. Es versteht sich von selbst, daß diese Tatsachen nur im Durchschnitt gelten und für das Individuum nicht zwangsläufig sind.

c) *Die verschiedene Empfindlichkeit für Lichtreize.*

Die spezifische Empfindlichkeit für Lichtreize ist verschieden. Da spektrale Lichter hinsichtlich der Wellenlänge und Intensität[1]) variiert werden können und die geringe Änderung ihrer Sättigung infolge der Tageslichtverhüllung außer acht gelassen werden kann, kommt nur eine verschiedene Empfindlichkeit der Tiere für Farb- und Helligkeitsreize in Frage. Ich bezeichne als *farbreizempfindlich* Tiere, die auf eine bestimmte Wellenlänge, unabhängig von der Intensität, dressierbar sind, als *helligkeitsempfindlich* dagegen solche, die dem Helligkeitsreiz eines Lichtes starken Einfluß auf die Reaktionen gewähren. Extrem helligkeitsempfindliche Individuen reagieren auf den Helligkeitsreiz schlechthin, unabhängig von der Farbqualität des den Reiz auslösenden Lichtes. Das Problem des Helligkeitsreizes behandelt der folgende Abschnitt. Hier genügt es, zu sagen, daß es sich bei diesen helligkeitsempfindlichen Tieren um eine kleine Minderheit handelt und daß ihre Reaktionen so charakteristisch sind, daß ein Einfluß ihrer Reaktionen auf die Resultate über die Unterschiedsempfindlichkeit ausgeschaltet werden kann.

III. Der Einfluß des Helligkeitsreizes auf das Verhalten gegen Farbreize.

Es ergab sich bald im Gange der Versuche, daß die Kurven, die verschiedene Tiere für dieselbe Dressurwellenlänge lieferten, bisweilen ganz auffällige Unterschiede im Verlauf zeigten; besonders große Differenzen beobachtete ich bei Dressuren auf extrem lang- oder kurzwellige Strahlen, deren Helligkeit im Vergleich zu den mittelwelligen Strahlen höchstwahrscheinlich recht gering ist. Einige Tiere zeigten eine mehr oder

[1]) Worunter die objektiv meßbare und veränderbare Stärke der Lichter verstanden wird, während Helligkeit die quantitative *Reizwirkung* bezeichnen soll.

minder große Neigung, die offenbar helleren mittleren Spektralbezirke anzuspringen. Es lag nahe, Helligkeitswirkungen zu vermuten, die mit den Wirkungen der Farbreize je nach Veranlagung des Tieres mehr oder weniger interferierten. Um über die Wirkung des Farbreizes im Spektrum Klarheit zu erhalten, war demnach eine Prüfung notwendig, von welchem Einfluß die Helligkeitswirkung auf die Reaktionen gegenüber Farbreizen ist.

Schiemenz hat den Nachweis geführt, daß bei Dressur auf einen bestimmten Spektralausschnitt nicht eine bestimmte Helligkeit, sondern eine spezifische Farbwirkung mit dem Empfang von Futter assoziiert wird. Das Tier reagiert auf verschiedene Intensitätsstufen der Dressurfarbe, jedoch auf keine Intensität unzerlegten Lichts (S. 196). Die bei der Fütterung angewandte Intensität der Dressurwellenlänge ist aber insofern von Einfluß, als die Reaktionsstärke bei verminderter Intensität der Farbe sinkt (S. 214). Ich prüfte nun zunächst, ob Helligkeit nicht doch als repräsentativer Reiz wirken könne, wenn man ein Tier unter Darbietung zweier verschiedener Wellenlängen stets bei der intensitätsstärkeren bzw. -schwächeren Farbe füttert[1]).

a. *Dressurversuch auf relativ größere Helligkeit bei Darbietung zweier verschiedener Farbreize von verschiedener Intensität.*

Zu dem Zwecke bot ich einer Ellritze (u. a. Nr. 24) zwei schmale Wellenlängenbezirke nebeneinander, von denen jeweils einer auf mindestens ein Sechstel der ursprünglichen Intensität verdunkelt wurde[2]). Die Wellenlängen beider Streifen waren stets verschieden und wurden von Versuch zu Versuch verändert. Das Tier wurde stets bei der intensitätsstärkeren Farbe gefüttert; es lernte jedoch nicht, die jeweils hellere Farbe anzuspringen. Fütterte ich beispielsweise bei Grün, während die verdunkelte Farbe ein Orange war, und vertauschte jetzt die Intensitätsverhältnisse, indem ich bei dem in voller Stärke einfallenden Orangefarbstreifen weiterfütterte, so suchte oder sprang der Fisch meist zuerst beim verdunkelten Grünstreifen.

Die vorhergegangene Fütterung hat den Farbreiz viel stärker als den Helligkeitsreiz in die Assoziation eingehen lassen. Vielwöchige Dressur von drei Tieren änderte dies Ergebnis nicht.

b) *Dressurversuch auf Intensitätsabstufungen des unzerlegten Lichtes.*

Weiterhin wurde untersucht, ob sich der Fisch *innerhalb derselben Farbe* auf eine bestimmte Helligkeit dressieren läßt. Ich verwandte

[1]) Es darf ohne weiteres vorausgesetzt werden, daß bei gleichem Adaptationszustand mit einer Veränderung der Intensität eines Lichtes eine Veränderung der Helligkeit desselben in gleicher Richtung liegt.

[2]) Ich schnitt mir aus einer bestimmte kurze Zeit belichteten photographischen Platte schmale Glasstreifen (0,5 cm breit, 10 cm lang) zurecht, die ich in einem Holzpflock befestigte, der sich vor einen beliebigen Streifen der Spektralleiter stellen ließ. Die Intensitätsabschwächung durch die einzelnen Gläser wurde photometrisch bestimmt.

unzerlegtes Kohlebogenlicht, dessen Intensität mit Hilfe der schon von SCHIEMENZ gebrauchten Lichtsiebe verändert wurde. Zwei Tiere wurden monatelang auf schwache Intensität (Fisch 9 auf 3 vH., Fisch 12 auf 0,64 vH. der ursprünglichen Lichtstärke) des weißen Lichtes dressiert. Bot ich dann gleichzeitig zwei genügend verschiedene Intensitäten des Lichtes, so wurde ohne Ausnahme das stärkere Licht angesprungen. *Die Ellritze ist nicht auf bestimmte Helligkeit unzerlegten Lichtes zu dressieren; sie bevorzugt von verschiedenen Intensitäten der Dressurfarbe stets die intensitätsstärkere.* Sie verhält sich also wie die Bienen in den Versuchen von KÜHN (13).

Die Dressur auf unzerlegtes Licht dauerte sehr lang im Gegensatz zu der auf getönte Farben. Der Farbreizwert von Weiß muß für die Ellritze gering sein. Auch nach BURKAMP wirkt Grau wenig erregend aufs Ellritzenauge. Ihm gelang jedoch, wenn auch mühsam und schlecht, eine Dressur auf bestimmte Grautöne (S. 168f.). Dieser Widerspruch zu meinem Ergebnis beruht möglicherweise darauf, daß der Ultraviolettgehalt der Pigmente, die BURKAMP verwandte, für die verschiedenen Grautöne eine verschiedene Farbreizwirkung bedingte, was bei der hohen Empfindlichkeit des Ellritzenauges für Ultraviolett leicht möglich ist. Jedenfalls steht mein Ergebnis unter obiger Versuchsanordnung fest.

c) *Einfluß des Helligkeitsreizes bei gleichzeitiger Darbietung benachbarter Farbstreifen von verschiedener Intensität.*

Da der Fisch bei Anwendung ausgesprochen verschiedener Farben nicht auf die hellere dressiert werden kann, aber innerhalb derselben Farbe jeweils auf die hellste (intensitätsstärkste) am stärksten reagiert, so fragt es sich nun noch, wieweit er durch Verminderung der Intensität der Dressurwellenlänge zum Anspringen von für ihn *farbähnlichen* Wellenlängen von größerer Helligkeit gebracht werden kann. SCHIEMENZ hat bereits eine Beobachtung in dieser Richtung gemacht: Ellritzen, die auf Ultraviolett dressiert waren, sprangen bei dessen Verdunkelung ins intensitätsstärkere Violett.

Zur Prüfung wurden sowohl an der Spektralleiter als auch mit Darbietung nur einer anderen Wellenlänge neben der Dressurfarbe Versuchsreihen ausgeführt. Beispielsweise sei ein *Versuch mit zwei Farbstreifen* beschrieben.

Fisch 25 wurde auf einen gelbgrünen Farbstreifen (mittlere λ des Streifens = 568 $\mu\mu$) dressiert. Neben der Dressurfarbe wurde der kürzerwellige Nachbarfarbstreifen (547 $\mu\mu$) hellgrün geboten. Bei unverminderter Intensität beider Streifen bevorzugt das Tier die Dressurfarbe. Wird diese aber mittels eines Glasstreifens stark verdunkelt, so wird die Nachbarfarbe hellgrün sehr deutlich bevorzugt. Am nächsten Tage begann ich mit dem Verdunkelungsversuch und schloß an ihn den Kontrollversuch mit Lichtern unverminderter Stärke an, um Eingewöhnung

an bestimmte zeitliche Folge der Versuche zu vermeiden. Bei genügender Sprunganzahl wurde die Versuchsreihe abgeschlossen. *Je nach dem Grade der Abdunkelung der Dressurfarbe wechselt die Häufigkeit, mit der die Nachbarfarbe angesprungen wird.* (Tabelle 6).

Tabelle 6. *Zunahme der Helligkeitsabweichung mit zunehmender Verdunkelung der Dressurfarbe.* Fisch 39: Dressurwellenlänge: 547 $\mu\mu$.

1. Verdunkelung auf 12,1 vH. normaler Intensität

Versuch	Streifen 547 $\mu\mu$ (Kl. 9) Sprünge vH.	Streifen 529 $\mu\mu$ (Kl. 10) Sprünge vH.	n
Keine Verdunkelung	75,3	24,7	158 Sprünge
Verdunkelung von 547 $\mu\mu$ auf 12,1 vH.	33,8	66,2	124 „
Differenz: 41,5 vH.			

2. Verdunkelung auf 4,5 vH. normaler Intensität

Keine Verdunkelung.	80	20	80 „
Verdunkelung von 547 $\mu\mu$ auf 4,5 vH.	25,5	74,2	101 „
Differenz: 54,2 vH.			

Die Neigung der einzelnen Tiere, zur Nachbarfarbe abzuweichen, ist verschieden stark und auch beim Einzeltier schwankt der Grad der Abweichung. Bei Untersuchung von 12 Tieren fand sich jedoch kein einziges, das diese „Helligkeitsabweichung" nicht zeigte, wenn zwei in der Spektralleiter unmittelbar benachbarte Farbstreifen dargeboten wurden.

Bei den *Versuchen an der Spektralleiter* mit Verdunkelung der Dressurfarbe stellt die normale Prüfungskurve der betreffenden Dressurwellenlänge („Dressurkurve") den Kontrollversuch dar. Der Vergleich der Dressurkurve mit der erhaltenen Verdunkelungskurve lehrt nun, daß die Richtung und Stärke der Helligkeitsabweichung von dem Verlauf der Normalkurve abhängig ist. Ist der Abfall der Kurvenschenkel in der Normalkurve von der Dressurfarbe nach den beiden Nachbarfarben sehr ungleich groß, so wandert der Kurvengipfel im Verdunkelungsversuch von der Dressurfarbe vollkommen nach der im Normal-

Tabelle 7a. Helligkeitsabweichung im Verdunkelungsversuch an der Spektralleiter bei Wahrung der Eingipfligkeit der Kurve.
Fisch 21: Dressurwellenlänge: 568 $\mu\mu$. Verdunkelung der λ 568 $\mu\mu$ auf 26,7 vH. normaler (maximaler) Intensität.

Wellenlänge	622	592	568	547	529	512	$\mu\mu$	n
1. Dressurkurve (keine Verdunkelung)	0,3	5,4	64,9	21,2	4,4	2,1	vH. d. Sprünge	772
2. Verdunkelungskurve	0	3,7	31,2	48,7	6,9	3,7	„	189
Differenz.	− 0,3	− 1,7	− 33,7	+ 27,5	+ 2,5	+ 1,0	„	

versuch stärker besprungenen Nachbarfarbe über (Tab. 7a). Sind aber im normalen Dressurversuch die Nachbarfarben ungefähr gleich stark besucht, so bildet sich im Verdunkelungsversuch eine zweigipfelige Kurve heraus, in welcher die verdunkelte Dressurfarbe den Sattel einnimmt (Tab. 7b).

Tabelle 7b. Helligkeitsabweichung unter Bildung einer zweigipfligen Kurve. Fisch 19: Dressurfarbe: Purpurfilter. Darbietung des roten Spektralbereichs. In der Normalkurve liegt der Gipfel bei der Wellenlänge etwa 655 $\mu\mu$; Verdunkelung von etwa 655 $\mu\mu$ auf 12,1 vH. ursprünglicher Intensität.

	etwa	etwa	etwa				
Wellenlänge	750	695	655	622	592	$\mu\mu$	n
1. Normalkurve . . .	0,7	26,1	52,9	18,7	0,6	vH. d. Sprünge	1370
2. Verdunkelungskurve	4,6	43,3	20,2	29,4	2,5	„	282
Differenz	+ 3,9	+ 17,2	− 32,7	+ 10,7	+ 1,9	„	

d) *Einfluß des Helligkeitsreizes in den normalen Dressurkurven.*

Die Helligkeitsunterschiede der einzelnen Farbstreifen der Spektralleiter sind sicher, besonders an den Enden derselben, nicht unerheblich. In der Tat kommen, wie auf S. 289 bereits erwähnt wurde, *gerade im extrem lang- und kurzwelligen Bereich in den Kurven einiger Fische Abweichungen ins offenbar hellere Spektralgebiet* vor. Als *Abweichungen* treten sie deshalb in Erscheinung, weil ihrer die überwiegende Mehrzahl der Kurven der betreffenden Dressurwellenlänge entbehrt. Deshalb kann es sich in diesen „Ausnahmekurven" nicht um Farbreizwirkungen handeln. Vielmehr gibt es Tiere, die sehr helligkeitsempfindlich (vgl. S. 289) sind, so daß neben Farb- auch Helligkeitswirkungen auf ihre Reaktionen Einfluß gewinnen. Bei den Ausnahmekurven ist nun

1. entweder die ganze Kurve ins offenbar hellere Gebiet der Spektralleiter verschoben, wobei der Kurvengipfel in den helleren Nachbarfarbstreifen fallen kann; dann geht die Helligkeitsabweichung nicht oder kaum über die der Dressurfarbe farbtonähnlichen Streifen hinaus.

2. oder es bildet sich neben dem Normalgipfel der Kurve ein zweiter, kleinerer Gipfel, = „Helligkeitsgipfel", heraus (vgl. Tab. 19, S. 308); dieser liegt stets in derjenigen Wellenlänge der Spektralleiter, welche die offenbar höchste Helligkeit in dem dargebotenen Spektralbereich aufweist; das Charakteristische dieser den Helligkeitsgipfel bildenden *Ausnahmesprünge* besteht also in der *ganz überwiegenden Wirkung des Helligkeitsreizes, ohne Rücksicht auf den Farbton* des Streifens, der den Helligkeitsgipfel erhält. Im ganzen fanden sich 6 Kurven mit einem solchen Helligkeitsgipfel; da derselbe von der Gesamtsprunganzahl der betreffenden Kurven nur $^1/_{30}$—$^1/_{10}$ der Sprünge erhielt, geht klar hervor, daß es sich *auch bei diesen extrem helligkeitsempfindlichen Tieren*

um seltene Ausnahmereaktionen besonderer Art handelt. Diese mußten im Zahlenmaterial fortfallen. Da die 6 Kurven aber insgesamt nicht entbehrt werden konnten, wurde so verfahren, daß die Kurve bis zum Sattelpunkt zwischen den beiden Gipfeln (diesen eingeschlossen) gerechnet wurde; der von diesem stets nahe der Abszisse gelegenen Sattelpunkt zum Helligkeitsgipfel ansteigende Kurvenast blieb also unberücksichtigt.

Zusammenfassend läßt sich über den Einfluß von Helligkeitsreizen in der Spektralleiter sagen: *Die meisten Ellritzen sind ausgesprochen „farbempfindlich"; sie gewähren den Helligkeitsunterschieden innerhalb der Spektralleiter keinen nachweisbaren Einfluß auf die Reaktionen* (vgl. auch die Mittelwertverschiebung S. 300, 307, 316, 320f.) bei anderen interferieren die Reizwirkungen von Helligkeit und Farbe, aber nur bei wenigen sehr „helligkeitsempfindlichen" Tieren wirkt der Helligkeitsreiz zuweilen souverän.

Das Problem der Helligkeitsverteilung im Spektrum.

Über die Helligkeitsverteilung für das Ellritzenauge im Spektrum liegen bisher nur die Untersuchungen von v. Hess vor; hiernach soll die Helligkeitskurve der Ellritze mit der des total farbenblinden Menschen übereinstimmen. Für das Problem von Wichtigkeit ist der Nachweis von v. Frisch (7, 8) an dem Cyprinoiden *Gobio fluviatilis* (Gründling), daß es für diesen Fisch ein Tages-Farbensehen, an die Wirksamkeit der Zapfen gebunden, und ein Dämmerungs-Farblosschen, an die der Stäbchen gebunden, gibt. Diese auffallende Übereinstimmung im Wechsel zwischen Tages- und Dämmerungssehen mit dem Verhalten des menschlichen Auges macht es sehr wahrscheinlich, daß für die Fische gleichfalls wie für den Menschen die Helligkeitsverteilung im Spektrum für das helladaptierte und das dunkeladaptierte Auge verschieden ist. Einen Schluß auf den Verlauf der Helligkeitskurve für die helladaptierte Ellritze erlauben folgende Tatsachen.

1. Die Farbschwelle für Rot liegt beim Ellritzenauge jedenfalls nicht wesentlich höher als für das menschliche Auge. Der Fisch 28 sprang das längstwellige Licht der Spektralleiter, das etwa einer mittleren λ von 695 $\mu\mu$ entspricht, bei stärkster Tageslichtverhüllung dann noch sicher und heftig an, wenn ich den Spalt auf minimale Breite gestellt und von dem schwachen Licht nur 12,1 vH. (mittels Glasstreifens) hindurchgelassen hatte. Mich kostete es Mühe, einen schwachen farbigen Schimmer zu erkennen. Dieselbe Reaktion erfolgte bei völlig dunklem Zimmer unter Bedingungen, daß meinem Auge der kurzwellige Spektralbereich bis 500 $\mu\mu$ hinauf farblos erschien. Nach v. Frisch erkennen Gründlinge Rot noch sicher, wenn bei den anderen Farben bereits Versager eintreten. Die Helligkeit der roten Lichtstrahlen kann also nicht so gering sein, wie v. Hess behauptete.

2. Ferner gestattet die Lage der Helligkeitsgipfel wie auch der Kurven, deren Verlauf die erwähnten Abweichungen (S. 293) zeigt, einen Rückschluß auf die Helligkeitsverteilung im Spektrum. Die „helligkeitsempfindlichen" Tiere, die auf langwelliges Rot dressiert sind, springen bis zum Orange (622 $\mu\mu$) ausnahmsweise viel zu häufig. Bis ins Gelbgrün (568 $\mu\mu$) hinauf weichen helligkeitsempfindliche Individuen ab, die auf Blaugrün oder Blau dressiert wurden. Helligkeits*gipfel* fanden sich nur bei Dressuren auf kurzwelliges Licht. Der

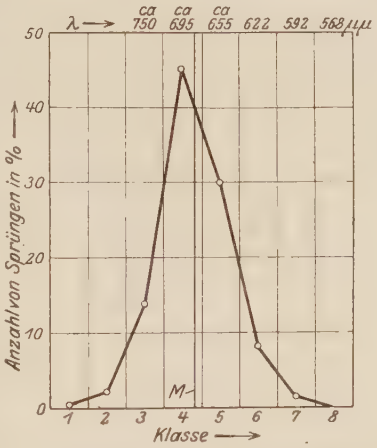
Helligkeitsgipfel lag stets am langwelligen Ende der in der betreffenden Dressur gebotenen Spektralleiter. Dieses muß also heller sein als das eigentliche Dressurfarbgebiet. Bei einer Dressur auf die Wellenlänge 473 $\mu\mu$ bildete sich bei 547 $\mu\mu$ der Helligkeitsgipfel aus. Demnach erscheint es als *wahrscheinlich, daß das Helligkeitsmaximum für das helladaptierte Ellritzenauge zwischen etwa* 622 $\mu\mu$ *und* 568 $\mu\mu$ *liegt.* Exakte Prüfung der Verhältnisse erscheint dringend geboten.

IV. Die Dressurfarbkurven des prismatischen Spektrums.

Die Anwendung der Spektralleiter gestattete eine Dressur auf 20 schmal begrenzte Wellenlängenbezirke. Die Dressurergebnisse sollen in der Reihenfolge von Rot bis Ultraviolett besprochen werden.

1. Rot.

Das erste, mittels Spektroskops ungefähr festlegbare und dem Auge deutlich wahrnehmbare Rot entspricht etwa einer mittleren Wellenlänge von 695 $\mu\mu$. Der längerwellige Nachbarstreifen dieser Farbe muß etwa bei 750 $\mu\mu$[1]) liegen; er war als äußerst schwacher, für mich kaum farbiger Streif zu erkennen. Ungeübte Augen sahen ihn überhaupt nicht. Ich versuchte einen bis dahin sehr reaktionsfähigen Fisch, der bislang auf die Wellenlänge 485 $\mu\mu$ dressiert war, auf diesen nahezu farblosen *Streifen etwa* 750 $\mu\mu$ *zu dressieren.* Nach längerer Dressur konnte ich bei Darbietung der Spektralleiter Sprünge auf den Dressurstreif und die benachbarten roten Streifen (= etwa 695 $\mu\mu$, etwa 655 $\mu\mu$, 622 $\mu\mu$) beobachten. Das Tier zeigte aber so hochgradige Reaktionsträgheit, daß eine hinreichende Anzahl von Sprüngen für Aufstellung einer Kurve nicht zu erhalten war. Bot ich ihm jedoch die alte Dressurfarbe 485 $\mu\mu$, so erfolgte stets lebhafte Reaktion. Der Farbcharakter des Streifens etwa 750 $\mu\mu$ muß aber ein rötlicher sein, da das Tier die roten Streifen ansprang. *Der Sehbereich der helladaptierten Ellritze am langwelligen Ende des Spektrums reicht also mindestens so weit wie der des menschlichen Auges.*



Kurvenabb. 3 (ergl. Tab. 8). Dressurfarbe = ca 695 $\mu\mu$ = Kl. 4.
M = Lage des Mittelwerts.

[1]) Da er nicht meßbar war, wurde die ungefähre Wellenlänge aus dem Verlauf der Dispersionskurve des Prismas erschlossen. Diese wurde durch Einzeichnung der aus den spektroskopischen Messungen errechneten Wellenlängenabstände zwischen zwei Streifen (= Klassen) in ein Koordinatensystem mit den entsprechenden Streifen erhalten. Ebenso wurde am kurzwelligen Ende der Spektralleiter verfahren.

Tabelle 8 (zu Kurve 3). Dressurfarbe: etwa 695 $\mu\mu$.

Klasse	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Spektralstreifen λ in $\mu\mu$ . . .			etwa 750	etwa 695	etwa 655	622	592	568	547	529	n	σ	$m\sigma$	M ± m
[Fisch 10 Sprünge vH.	—[1])	—	0,7	17,6	49,0	27,0	4,5	0,4	0,2	0	1281	0,873		5,194 ± 0,024]
1. Fisch 22 „ „	—	—	10,3	42,0	35,8	11,0	1,0	0	0	0	1451	0,862	0,016	4,506 ± 0,023
2. Fisch 28 „ „	0,5	2,0	16,8	47,5	27,5	5,5	0,3	0	0	0	400	0,883	0,031	4,17 ± 0,044
3. Fisch 42 „ „	0,2	2,2	14,2	46,0	26,3	8,2	2,8	—	—	—	498	0,995	0,032	4,319 ± 0,044
Summa Sprünge vH.	0,4	2,1	13,8	45,2	29,9	8,2	1,4	0	0	0	2349	0,91	0,026	4,33 ± 0,04

[1]) — bedeutet, daß der betr. Spektralstreifen in der betr. Dressur nicht geboten wurde.

Auf den Farbstreifen der *Wellenlänge etwa* 695 $\mu\mu$ (Klasse 4) dressierte ich 4 Tiere (Tabelle 8, Kurve 3; Kurve Nr. 22 ist in diesem Abschnitt stets zu vergleichen). Er ist ein schwaches dunkelrotes Licht, sein kurzwelliger Nachbarstreif = etwa 655 $\mu\mu$ (Klasse 5) ein kräftiges, bedeutend helleres Rot. Sodann folgt der Orangestreifen (622 $\mu\mu$ = Klasse 6), der noch bedeutend höhere Helligkeit für unser Auge aufweist. Wenn für das Ellritzenauge die Helligkeitsverhältnisse dieser 3 Rotstreifen ähnlich sind, wie für das menschliche Auge, dann steht zu erwarten, daß relativ helligkeitsempfindliche Tiere das helle Rot vor dem dunklen bevorzugen werden.

Das war der Fall. Der Fisch 10 bevorzugt trotz monatelanger Dressur auf die Wellenlänge etwa 695 $\mu\mu$ das helle Rot (etwa 655 $\mu\mu$). Selbst Orange, 622 $\mu\mu$, besucht er stärker als die Dressurfarbe, so daß der Mittelwert der Kurve bei 5,2 liegt (Mode in Klasse 4). Fisch 22 läßt sich auf etwa 695 $\mu\mu$, wenn auch schlecht, dressieren; der Anteil von 655 $\mu\mu$ ist noch sehr beträchtlich. Die beiden anderen Kurven (F. 42 und 28) haben einen viel weniger nach dem kurzwelligen Ende verschobenen Mittelwert und stimmen unter sich gut überein. Daß diesen verschieden starken Mittelwertverschiebungen die Reizwirkung der großen *Helligkeit* der kurzwelligen Nachbarstreifen zugrunde liegt, ist sicher anzunehmen.

Ein *Verdunkelungsversuch* zeigt die Berechtigung der Annahme. Biete ich dem relativ helligkeitsempfindlichen Fisch 22 im Zweistreifversuch die Wellenlängen etwa 695 $\mu\mu$ und etwa 655 $\mu\mu$ nebeneinander, so wird etwa 655 $\mu\mu$ bevorzugt, wenn die Lichter unverdunkelt sind. Wird die Wellenlänge etwa 655 $\mu\mu$ aber auf ein

Viertel ursprünglicher Stärke verdunkelt, so werden beide Streifen gleich häufig besprungen. Verdunkle ich aber auf ein Achtel, so wird etwa 695 $\mu\mu$ ganz vorwiegend besprungen (Tab. 9 a). Bei eben dieser Verdunkelungsstufe erscheinen dem menschlichen Auge die beiden Streifen von gleicher Helligkeit und gleichem Farbton (wie mir von Besuchern bestätigt wurde).

Tabelle 9.

a) Fisch 22. Dressurfarbe etwa 695 $\mu\mu$. Verdunkelung von etwa 655 $\mu\mu$.

Versuchsreihe	I. unverdunkelt	II. Verdunkelung von λ 655 $\mu\mu$ auf 26,7 vH.	III. auf 12,1 vH.	ursp. Stärke
λ etwa 695 $\mu\mu$	40,3 vH.	50,3 „	70,6 „	der Sprünge
λ etwa 655 $\mu\mu$	59,7 „	49,7 „	29,4 „	
Differenz	— 19,4 „	+ 0,6 „	+ 41,2 „	
n	276	169	102	Sprünge

b) Fisch 43. Dressurfarbe etwa 655 $\mu\mu$. Verdunkelung der Dressurfarbe auf 12,1 vH.

Versuchsreihe	I. unverdunkelt	II. Verdunkelung von λ 655 $\mu\mu$ auf 12,1 vH.	ursp. Stärke
λ etwa 695 $\mu\mu$	29,6 vH.	88,9 „	der Sprünge
λ etwa 655 $\mu\mu$	70,4 „	11,1 „	
Differenz	+ 40,8 „	— 77,8 „	
n	81	72	Sprünge

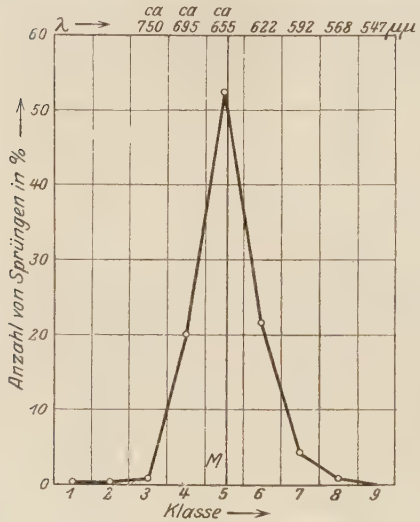
Ein Gegenversuch mit einem auf etwa 655 $\mu\mu$ dressierten Fisch 43 zeigt dieselbe Sachlage. Bei Darbietung der unverdunkelten Lichter (655 und 695 $\mu\mu$) wird die Dressurfarbe 655 $\mu\mu$ deutlich bevorzugt. Bei Verdunkelung derselben auf 12,1 vH. (= etwa ein Achtel) wird aber die Wellenlänge 695 $\mu\mu$ sehr vorwiegend angesprungen (Tab. 9 b).

Beide Fische bevorzugen gerade dann die Wellenlänge 695 $\mu\mu$ vor der λ etwa 655 $\mu\mu$ stark, wenn unserem Auge eine Unterscheidung nicht möglich ist.

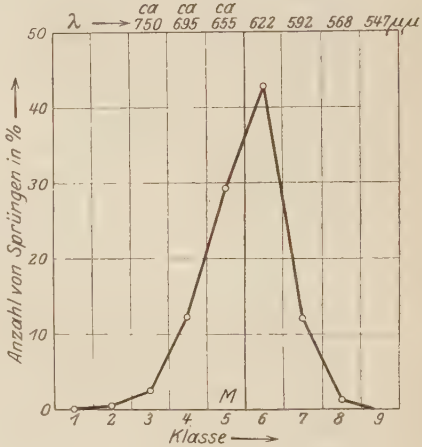
Diese Versuche sind deutbar nur dann, wenn man annimmt, daß das Licht der Wellenlänge etwa 655 $\mu\mu$ bei Verdunkelung auf 12,1 vH. ursprünglicher Stärke bereits dunkler auf das Ellritzenauge als die unverdunkelte Wellenlänge etwa 695 $\mu\mu$ wirkt. Tabelle 9a spricht dafür, daß bei Verdunkelung von 655 $\mu\mu$ auf ein Viertel beide Farbstreifen gleich hell sind: mit anderen Worten, daß der *Abfall der Helligkeitskurve im Rot weniger steil als für unser farbtüchtiges Auge* verläuft. Vielleicht hat auch die Wellenlänge etwa 750 $\mu\mu$ unter den angewandten Versuchsbedingungen für die Ellritze noch mehr Helligkeit als für den Menschen.

Der so wahrscheinlich gemachte schwächere Abfall der Helligkeitskurve im Rot ist natürlich steil genug, um die ausgesprochenen Mittelwertverschiebungen bei den Dressurkurven der Klasse 4 zu veranlassen. Die Kurve des Fisches 10 muß für die Beurteilung der Unterschiedsempfindlichkeit ausscheiden. Aus den übrigen 3 Kurven ergibt sich durch Berechnung der mittleren Werte für jeden Streifen die Kurve 3.

Der Nachbarstreif etwa 655 $\mu\mu$ ist nächst der Dressurfarbe am stärksten besucht, dann folgt bemerkenswerterweise bereits der langwellige Nachbarstreifen etwa 750 $\mu\mu$. Orange ist schwächer, das Gelb (592 $\mu\mu$ = Klasse 7) fast nie besucht. Das zeigt an, daß hier ein völlig



Kurvenabb. 4 (vergl. Tab. 10). Dressurfarbe: etwa 655 $\mu\mu$ = Kl. 5.



Kurvenabb. 5 (vgl. Tab. 11). Dressurfarbe: 622 $\mu\mu$ = Kl. 6.

fremder Farbreiz vorliegt. Nach dem langwelligen Ende hin fällt die Kurve steil zur Abszisse ab. Die Streuung ist relativ niedrig[1]).

Die nächste *Dressurwellenlänge etwa* 655 $\mu\mu$ (Klasse 5, Kurve 4, Tab. 10) ist anscheinend schon so hell für die Ellritze, daß keine auffallenden Helligkeitsabweichungen vorkommen. Der Besuch der beiden Nachbarfarben etwa 695 $\mu\mu$ und 622 $\mu\mu$ hält sich ziemlich das Gleichgewicht; da deren Helligkeit aber sehr verschieden ist, so ist anzunehmen, daß das dunklere Licht der λ 695 $\mu\mu$ der Dressurfarbe farbtonähnlicher ist als das Orange (622 $\mu\mu$), das vor 695 $\mu\mu$ die große Helligkeit voraus hat. Die Wellenlänge etwa 750 $\mu\mu$ weist kaum, Gelb dagegen etwas stärkeren Besuch auf. Die Streuung, verglichen mit der von etwa 695 $\mu\mu$,

[1]) σ berechnet nach: $\sigma = \pm\sqrt{\frac{\Sigma pa^2}{n} - b^2}$.

Tabelle 10 (zu Kurve 4). Dressurfarbe: etwa 655 $\mu\mu$.

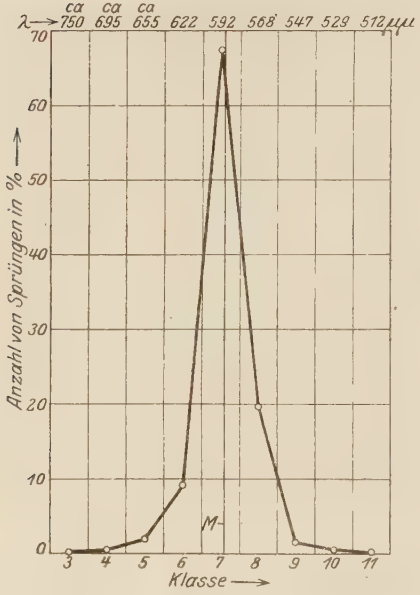
Klasse	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Spektralstreifen λ in $\mu\mu$ . . .			etwa 750	etwa 695	etwa 655	622	592	568	547	529	n	σ	mσ	M $\pm$ m
1. Fisch 43 Sprünge vH.	0	0	0,4	20,1	56,2	20,3	2,7	0,2	0	0	478	0,738	0,024	5,054 $\pm$ 0,03
2. Fisch 46 „ „	0,3	0,6	0,9	19,9	48,6	22,7	5,7	1,1	0	0	352	0,931	0,035	5,131 $\pm$ 0,05
Summa „ „	0,2	0,3	0,7	20,0	52,4	21,5	4,2	0,7	0	0	830	0,83	0,03	5,09 $\pm$ 0,04

Tabelle 11 (zu Kurve 5). Dressurfarbe: 622 $\mu\mu$.

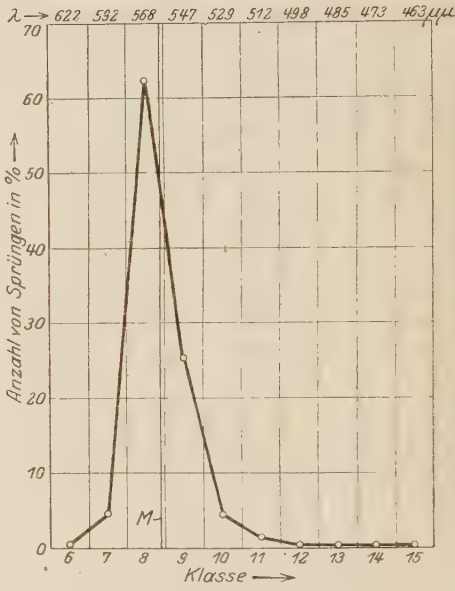
Klasse	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Spektralstreifen λ in $\mu\mu$ . . .			etwa 750	etwa 695	etwa 655	622	592	568	547	529	n	σ	mσ	M $\pm$ m
1. Fisch 35 Sprünge vH.	0,4	0,8	4,3	18,0	22,9	37,3	15,2	1,2	0	0	512	1,186	0,037	5,408 $\pm$ 0,052
2. Fisch 40 „ „	0	0,5	2,4	12,7	32,2	42,0	10,3	—	—	—	417	0,953	0,033	5,436 $\pm$ 0,047
3. Fisch 41 „ „	0	0	1,0	5,8	32,5	49,0	10,6	1,2	0	0	520	0,822	0,026	5,659 $\pm$ 0,036
Summa „ „	0,1	0,4	2,6	12,2	29,2	42,8	12,0	1,2	0	0	1449	0,99	0,03	5,50 $\pm$ 0,135

ist gesunken. Die beiden Tiere lieferten sehr gut übereinstimmende Kurven.

Der Mittelwert, der bei Kurve 4 etwas ins Orange verschoben ist, rückt bei *Dressurwellenlänge* 622 $\mu\mu$ (Kurve 5) stark ins langwellige Gebiet hinein (Tab. 11), eine sehr augenfällige Veranschaulichung der *Unabhängigkeit der Reaktion farbempfindlicher Ellritzen von den Helligkeitsunterschieden im Spektrum*. Dem steilen Abfall der Kurven aller drei Tiere, die auf 622 $\mu\mu$ (Klasse 6) dressiert wurden, ins Gelb steht ein schwaches Gefälle ins Rot hinein gegenüber. Die Wellenlänge etwa 695 $\mu\mu$ und auch die von etwa 750 $\mu\mu$ sind von den Fischen 35



Kurvenabb. 6 (vergl. Tab. 12). Dressurfarbe: 592 $\mu\mu$ = Kl. 7.



Kurvenabb. 7 (vergl. Tab. 13). Dressurfarbe: 568 $\mu\mu$ = Kl. 8.

und 40 auffallend stärker als von Fisch 41 besucht. Letzterer ist offenbar relativ helligkeitsempfindlich, seine Kurve hat die geringste Streuung[1]). Der σ-Wert der Kurve 5 ist höher als der von 655 $\mu\mu$.

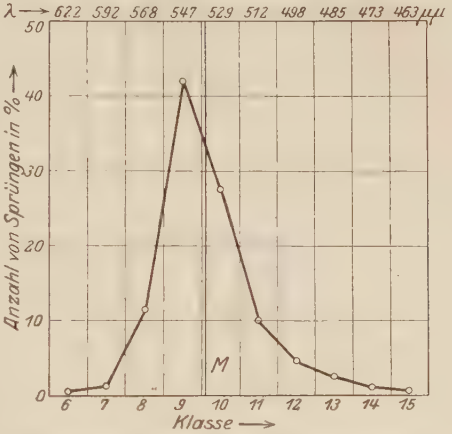
Im Rotbezirk sind demnach drei sicher unterschiedene Farbnüancen nachgewiesen.

---

[1]) Die Kurve eines *helligkeits*empfindlichen Tieres hat bei Dressur auf ein *helles* Licht natürlich geringeren σ-Wert als bei Dressur auf ein dunkles Licht (etwa 695 $\mu\mu$). Im letzteren Fall weist die des *farbton*empfindlichsten Tieres die geringste Streuung auf.

2. Gelb.

Die Kurve 6 der *Dressurwellenlänge* 592 $\mu\mu$ (Gelb Kl. 7) (Tabelle 12) weist nach dem Orange hin steilen Abfall auf; nach der kurzwelligen Nachbarfarbe gelbgrün = 568 $\mu\mu$ fällt die Kurve nicht ganz so stark ab. Die Farbtondifferenz nach dem Orange hin ist also für den Fisch etwas größer, so daß der Mittelwert unbeträchtlich ins kurzwellige Gebiet verlagert ist. Der σ-Wert ist sehr klein.

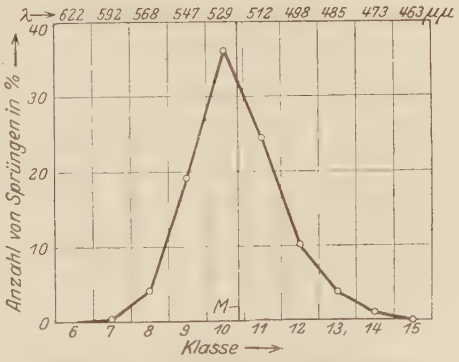


Kurvenabb. 8 (vergl. Tab. 14). Dressurfarbe: 547 $\mu\mu$ = Kl. 9.

Die längeren Wellen des Spektrums werden demnach von der Ellritze ausgezeichnet unterschieden (im Gegensatz zu Burkamps Ansicht, S. 153).

3. Grün.

Die Höhe der Kurve 7 für *Dressurfarbe* 568 $\mu\mu$ (= Gelbgrün Kl. 8) (Tab. 13) ist gegenüber der von Gelb nicht wesentlich gesunken. Dagegen ist die Streuung beträchtlich gestiegen. Dem steilen Abfall zum Gelb steht ein schwächeres Kurvengefälle ins kurzwellige Gebiet gegenüber. Das sehr flache Auslaufen der Kurve ins kurzwellige Grün ist ein Beweis, daß sie ein *Gebiet geringen Farbreizgefälles* erreicht hat. Dadurch wird der Mittelwert stark ins Grün verschoben.



Kurvenabb. 9 (vergl. Tab. 15). Dressurfarbe: 529 $\mu\mu$ = Kl. 10.

Die beiden Kurven der Fische 21 und 25 stimmen bis auf eine σ-Differenz gut überein. Mit dem Tier 21 wurde der auf S. 292 beschriebene Verdunkelungsversuch an der Spektralleiter durchgeführt (Tab. 7 a), der zeigt, daß bei Verdunkelung der Dressurfarbe der Kurvengipfel ganz zum Hellgrün (547 $\mu\mu$) hinüberwandert.

Auf die *Wellenlänge* 547 $\mu\mu$ (Klasse 9) wurden 4 Tiere dressiert (Kurve 8, Tabelle 14). Der Mittelwert der Kurve 8 ist noch beträchtlich mehr als der von Kurve 7 ins kurzwellige Gebiet verschoben. Der

Tabelle 12 (zu Kurve 6). Dressurfarbe: 592 $\mu\mu$.

Klasse	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	etwa 750	etwa 695	etwa 655	622	592	568	547	529	512	498	n	σ	mσ	M $\pm$ m
1. Fisch 5 Sprünge vH.	0,1	0,1	0,1	6,3	72,2	20,2	0,9	0	0	0	650	0,573	0,016	7,133 $\pm$ 0,02
2. Fisch 11 „ „	0	0,7	3,7	11,6	62,2	19,0	1,7	1,0	0,3	0	301	0,830	0,034	7,057 $\pm$ 0,05
Summa	0,1	0,4	1,9	9,0	67,2	19,6	1,3	0,5	0,2	0	951	0,70	0,025	7,095 $\pm$ 0,036

Tabelle 13 (zu Kurve 7). Dressurfarbe: 568 $\mu\mu$.

Klasse	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	622	592	568	547	529	512	498	485	473	463	n	σ	mσ	M $\pm$ m
1. Fisch 21 Sprünge vH.	0,3	5,4	64,9	21,2	4,4	2,1	0,5	0,3	0,4	0,5	772	1,01	0,026	8,397 $\pm$ 0,036
2. Fisch 25 „ „	0,9	4,1	59,7	29,3	4,6	0,9	0,2	0,2	0	0	434	0,772	0,026	8,373 $\pm$ 0,042
Summa „ „	0,6	4,8	62,3	25,3	4,5	1,5	0,4	0,3	0,2	0,3	1206	0,89	0,026	8,385 $\pm$ 0,04

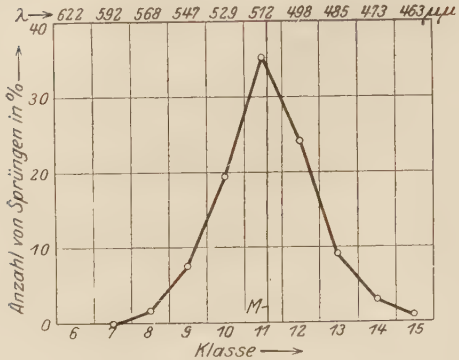
Tabelle 14 (zu Kurve 8). Dressurfarbe: 547 $\mu\mu$.

Klasse / Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	6 622	7 592	8 568	9 547	10 529	11 512	12 498	13 485	14 473	15 463	n	σ	mσ	M $\pm$ m
1. Fisch 7 Sprünge vH.	0,7	1,8	15,5	41,0	27,8	8,2	3,4	1,4	—	—	438	1,133	0,038	9,388 $\pm$ 0,054
2. Fisch 26 „ „	0	1,3	11,8	31,2	25,9	13,5	8,3	5,2	2,0	0,9	557	1,55	0,046	9,997 $\pm$ 0,066
3. Fisch 36 „ „	0	0,7	7,9	54,8	25,8	5,9	2,7	1,7	0,5	0,2	406	1,065	0,037	9,469 $\pm$ 0,053
4. Fisch 39 „ „	0,2	0,8	10,7	40,5	30,2	12,0	4,0	1,3	0,4	0	523	1,14	0,035	9,605 $\pm$ 0,05
Summa „ „	0,3	1,2	11,5	41,9	27,4	9,9	4,6	2,4	1,0	0,4	1924	1,22	0,039	9,614 $\pm$ 0,055

Tabelle 15 (zu Kurve 9). Dressurfarbe: 529 $\mu\mu$.

Klasse / Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	6 622	7 592	8 568	9 547	10 529	11 512	12 498	13 485	14 473	15 463	n	σ	mσ	M $\pm$ m
1. Fisch 19 Sprünge vH.	—	0,4	6,4	20,0	31,6	23,4	11,0	[6,8]	vorher Violettdressur		471	1,31	0,04	10,31 $\pm$ 0,06
2. Fisch 30 „ „	0	0,2	3,0	20,3	34,1	23,8	12,0	5,0	1,3	0,2	596	1,26	0,037	10,43 $\pm$ 0,05
3. Fisch 37 „ „	0	0,6	3,0	17,2	41,8	26,1	7,6	3,0	0,7	0	536	1,11	0,034	10,29 $\pm$ 0,05
Summa „ „	0	0,4	4,1	19,2	35,8	24,4	10,2	4,0	1,0	0,1	1603	1,23	0,04	10,34 $\pm$ 0,05

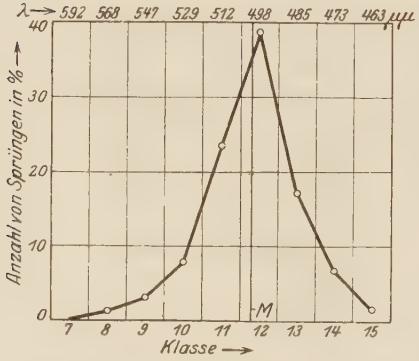
Abfall zum Gelbgrün ist steil im Verhältnis zu dem ins benachbarte kurzwellige Grün (529 $\mu\mu$). Die Farbtondifferenz ist also von Gelb ab nach den kürzeren Wellen hin noch dauernd im Sinken begriffen. Der σ-Wert ist gegenüber dem von 568 $\mu\mu$ und vor allem 592 $\mu\mu$ mächtig gestiegen.



Kurvenabb. 10 (vergl. Tab. 16). Dressurfarbe: 512 $\mu\mu$ = Kl. 11.

Bei dem tiefen Grün der *Wellenlänge* 529 $\mu\mu$ (Kl. 10; Kurve 9, Tab. 15) erfährt er keine Verschiebung; dagegen ist die Höhe noch gesunken. Das Farbtongefälle ins benachbarte Dunkelgrün (512 $\mu\mu$) ist deutlich geringer als zum Hellgrün (547 $\mu\mu$). Immerhin rückt M bereits näher an die Mode heran, bleibt aber noch beträchtlich nach der kurzwelligen Seite verschoben. Relativ hoch erscheint der Besuch von Cyanblau (485 $\mu\mu$), dem drittbenachbarten kurzwelligen Farbstreifen. Die Sicherheit der Tiere schwankt.

Das Dunkelgrün der *Wellenlänge* 512 $\mu\mu$ (Kl. 11; Kurve 10, Tab. 16) hat gleich λ 529 $\mu\mu$ geringe Höhe; der σ-Wert ist noch etwas gestiegen. Der Mittelwert ist dicht an die Dressurfarbe herangerückt, nur noch unbeträchtlich ins kurzwellige Gebiet verschoben. Also halten sich beide Schenkel der Kurve ziemlich das Gleichgewicht. Wenn man den Umstand der dauernd nach dem Violett hin zunehmenden Dispersion berücksichtigt, so lehren die 4 Kurven dieser Wellenlänge, daß *nach dem kurzwelligen Ende hin das Farbtongefälle bereits steigt.*



Kurvenabb. 11 (vergl. Tab. 17). Dressurfarbe: 498 $\mu\mu$ = Kl. 12.

Mit den Dressuren auf λ 498 $\mu\mu$ (= Kl. 12; Kurve 11, Tab. 17) hatte ich wenig Glück. Fisch 3 war von Schiemenz dressiert worden und mußte ausscheiden, da der Wellenlängenbezirk der Dressur nicht genau genug festlag. Fisch 17 bespringt das helle Grün und Gelb derart stark, daß man Wirkung der Helligkeit annehmen muß. Bei Fisch 35 ist diese

Tabelle 16 (zu Kurve 10). Dressurfarbe: 512 $\mu\mu$.

Klasse / Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	6 622	7 592	8 568	9 547	10 529	11 512	12 498	13 485	14 473	15 463	n	σ	mσ	M $\pm$ m
1. Fisch 18 Sprünge vH.	0,2	0	1,1	10,8	19,5	25,7	21,9	12,7	6,6	1,5	529	1,51	0,046	11,276$\pm$0,066
2. Fisch 32 „ „	0	0,4	2,3	8,2	19,8	33,5	24,5	8,6	2,3	0,4	257	1,29	0,057	11,055$\pm$0,08
3. Fisch 34 „ „	0	0	1,1	6,8	20,8	40,7	22,9	6,6	1,1	0	523	1,08	0,034	11,017$\pm$0,047
4. Fisch 38 „ „	0	0	1,2	4,2	16,9	40,1	26,8	8,2	1,6	1,2	429	1,14	0,039	11,24 $\pm$0,055
Summa „ „	0	0,1	1,6	7,5	19,3	35,0	24,0	9,0	2,9	0,8	1738	1,26	0,044	11,148$\pm$0,06

Tabelle 17 (zu Kurve 11). Dressurfarbe: 498 $\mu\mu$.

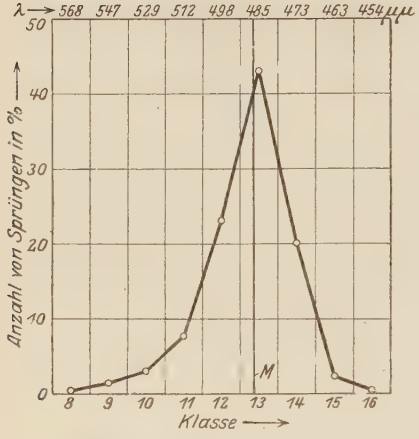
Klasse / Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	6 622	7 592	8 568	9 517	10 529	11 512	12 498	13 485	14 473	15 463	n	σ	mσ	M $\pm$ m
Fisch 3 Sprünge vH.	0,4	0,2	2,1	10,1	20,3	22,2	26,9	15,4	1,6	0,8	513	1,435	—	11,16 $\pm$0,06
Fisch 17 „ „	0	1,5	5,0	10,8	15,2	18,7	22,9	17,5	5,9	1,9	747	1,81	—	11,34 $\pm$0,07
Fisch 35 „ „	—	—	9,0	9,0	11,5	20,5	27,8	18,9	3,3	0	122	2,5	—	11,19 $\pm$0,23
1. Fisch 42 „ „	0	0	1,3	2,9	7,7	23,5	38,8	17,2	6,7	1,7	519	1,26	0,039	11,828$\pm$0,055

Wirkung ohne Zweifel. An einem Versuchstage sprang er die Farbstreifen folgendermaßen an:

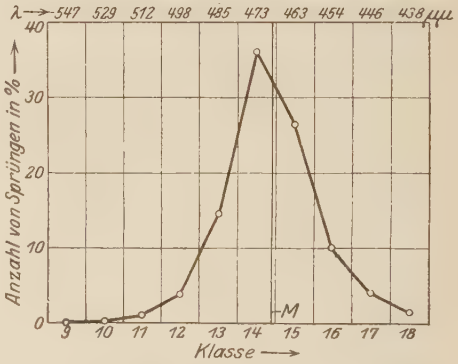
568 $\mu\mu$	: 5 Sprünge	529 $\mu\mu$	: 1 Sprung
547 $\mu\mu$	: 0 „	512 $\mu\mu$	: 5 Sprünge

Das sind starke Anzeichen dafür, daß 568 $\mu\mu$ das hellste Grün darstellt. So bleibt nur die Kurve von Fisch 42, die sich den bisher beobachteten Verhältnissen aufs beste einordnet. Die Höhe ist gestiegen, der σ-Wert der gleiche wie bei 512 $\mu\mu$. Der Mittelwert ist nach den langwelligen Lichtern hin gerückt, da die Kurve ins Cyanblau (485 $\mu\mu$) bedeutend stärker als ins Dunkelgrün abfällt und auch die nächstbenachbarten Wellenlängen des kurzwelligen Gebiets schwächer als die des Grün besucht werden.

Somit gelang es, *im grünen Farbbereich des Spektrums auf fünf*



Kurvenabb. 12 (vergl. Tab. 18). Dressurfarbe: 485 $\mu\mu$ = Kl. 13.



Kurvenabb. 13 (vergl. Tab. 19). Dressurfarbe: 473 $\mu\mu$ = Kl. 14.

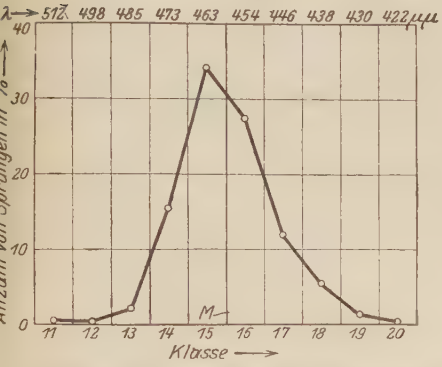
sicher unterschiedene Farbnüancen zu dressieren. Die Sicherheit, mit der z. B. 547 und 529 $\mu\mu$ unterschieden werden, hat zunächst etwas Überraschendes, da das menschliche Auge für die Farbtondifferenzen im Grün relativ unempfindlich ist.

4. Blau.

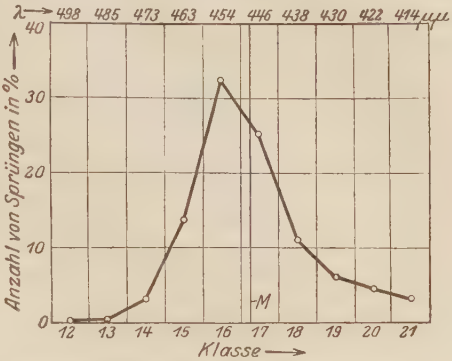
Die Kurve 12 (Tabelle 18) der *Wellenlänge* 485 $\mu\mu$ (Cyanblau, Kl. 13) zeichnet sich durch geringen σ-Wert und beträchtliche Höhe aus. Der Mittelwert ist immer noch nach dem Grün zu verschoben. Das Farbreizgefälle nach dem tiefen Blau (473 $\mu\mu$) übertrifft das zum Blaugrün beträchtlich.

Dem Steilabfall der Kurve 12 nach 473 $\mu\mu$ entspricht ein solcher

zum Cyanblau bei der Kurve 13 der *Wellenlänge* 473 $\mu\mu$ (Kl. 14, Tab. 19). Jedoch fällt die Kurve flacher nach dem kurzwelligen Ende ab. Demzufolge sinkt die Höhe, steigt die Streuung, ist M stark ins U-Blau verschoben, ein deutlicher Ausdruck für die *Unabhängigkeit der Fehler-*



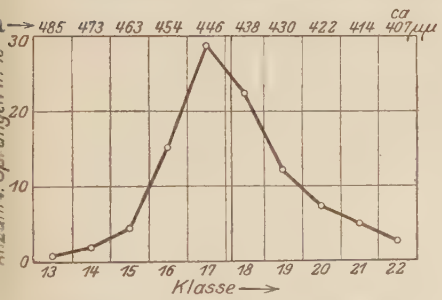
Kurvenabb. 14 (vergl. Tab. 20). Dressurfarbe: 463 $\mu\mu$ = Kl. 15.



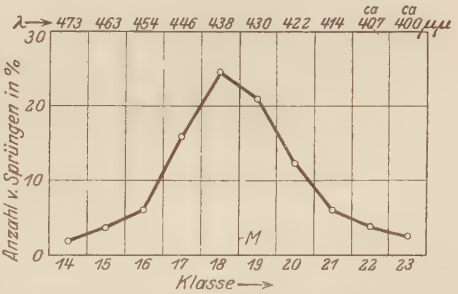
Kurvenabb. 15 (vergl. Tab. 21). Dressurfarbe: 454 $\mu\mu$ = Kl. 16.

kurve farbtonempfindlicher Fische von der Helligkeitsverteilung. Die Kurven stimmen gut überein; Fisch 16 zeigt zum erstenmal einen Helligkeitsgipfel auf der Wellenlänge 547 $\mu\mu$, der sich leicht beseitigen läßt (vgl. S. 294).

Bei der *Wellenlänge* 463 $\mu\mu$ (Kl. 15, Kurve 14, Tab. 20) ist der



Kurvenabb. 16 (vergl. Tab. 22). Dressurfarbe: 446 $\mu\mu$ = Kl. 17.



Kurvenabb. 17 (vergl. Tab. 23). Dressurfarbe: 438 $\mu\mu$ = Kl. 18.

Mittelwert noch stärker zu den kürzeren Wellen verschoben. σ steigt, die Höhe sinkt.

Diese Tendenz hält bei der *Wellenlänge* 454 $\mu\mu$ (Kl. 16; Kurve 15, Tab. 21) an; M ist weiter ins kurzwellige Gebiet verlagert, σ weiter gestiegen, die Höhe gesunken. Die Sicherheit der 3 Tiere, die auf 454 $\mu\mu$ dressiert wurden, schwankt beträchtlich.

Bei der nächsten *Wellenlänge* 446 $\mu\mu$ (Kl. 17; Kurve 16, Tab. 22)

Tabelle 18 (zu Kurve 12). Dressurfarbe: 485 $\mu\mu$.

Klasse	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17				
Spektralstreifen λ in $\mu\mu$ . . .	568	547	529	512	498	485	473	463	454	446	n	σ	mσ	M $\pm$ m
1. Fisch 27 Sprünge vH.	0,3	1,8	4,2	9,2	24,8	36,4	21,3	2,0	0	0	685	1,23	0,033	12,61 $\pm$ 0,047
2. Fisch 40 „ „	0	0,7	1,5	5,4	21,0	49,4	18,8	2,5	0,7	0	276	1,007	0,043	12,87 $\pm$ 0,061
Summa „ „	0,2	1,3	2,9	7,3	22,9	42,9	20,1	2,3	0,4	0	961	1,12	0,038	12,74 $\pm$ 0,05

Tabelle 19 (zu Kurve 13). Dressurfarbe: 473 $\mu\mu$.

Klasse	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
Spektralstreifen λ in $\mu\mu$ . . .	547	529	512	498	485	473	463	454	446	438	n	σ	mσ	M $\pm$ m
1. Fisch 16 Sprünge vH.	[4,9	2,9]	1,9	3,9	13,5	33,6	24,1	9,8	3,7	1,7	642	1,31	0,037	14,38 $\pm$ 0,05
2. Fisch 48 „ „	0	0	0	2,5	13,9	38,1	30,7	10,4	4,0	0,5	202	1,085	0,054	14,47 $\pm$ 0,079
3. Fisch 50 „ „	0,2	0,4	0,7	5,0	16,7	36,7	24,4	9,8	4,1	2,1	562	1,293	0,039	14,337 $\pm$ 0,055
Summa „ „	0,1	0,2	0,9	3,8	14,7	36,1	26,4	10,0	3,9	1,4	1406	1,23	0,043	14,394 $\pm$ 0,06

Tabelle 20 (zu Kurve 14). Dressurfarbe: 463 $\mu\mu$.

Klasse Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	11 512	12 498	13 485	14 473	15 463	16 454	17 446	18 438	19 430	20 422	n	σ	mσ	M ± m
1. Fisch 28 Sprünge vH.	0,4	0,4	2,9	17,8	31,0	26,0	12,3	6,0	2,3	0,9	561	1,40	0,042	15,566 ± 0,06
2. Fisch 51 „ „	0,7	0,3	1,4	12,8	37,4	29,6	11,6	5,4	0,7	0	294	1,19	0,049	15,524 ± 0,07
Summa „ „	0,6	0,4	2,2	15,3	34,2	27,8	12,0	5,7	1,5	0,5	855	1,30	0,046	15,545 ± 0,07

Tabelle 21 (zu Kurve 15). Dressurfarbe: 454 $\mu\mu$.

Klasse Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	12 498	13 485	14 473	15 463	16 454	17 446	18 438	19 430	20 422	21 414	n	σ	mσ	M ± m
1. Fisch 13 Sprünge vH.	0,3	0,9	4,3	16,1	29,2	21,3	10,8	7,3	6,1	3,7	675	1,74	0,047	16,79 ±0,067
2. Fisch 45 „ „	0	0	0,7	8,4	41,4	31,3	9,7	3,7	2,2	2,5	403	1,261	0,044	16,732±0,063
3. Fisch 49 „ „	0,7	0,5	4,3	16,6	26,6	23,1	12,8	7,2	4,8	3,1	415	1,696	0,059	16,757±0,083
Summa „ „	0,3	0,5	3,1	13,7	32,4	25,2	11,1	6,1	4,4	3,1	1493	1,57	0,05	16,76 ±0,07

Tabelle 22 (zu Kurve 16). Dressurfarbe: 446 $\mu\mu$.

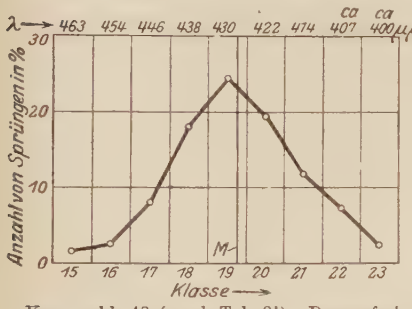
Klasse	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22				
Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	485	473	463	454	446	438	430	422	414	etwa 407	n	σ	mσ	M $\pm$ m
1. Fisch 9 Sprünge vH.	1,0	4,2	7,2	16,5	26,2	21,5	10,0	7,0	5,0	1,5	401	1,77	0,062	17,421$\pm$0,09
2. Fisch 19 „ „	0	0,6	4,7	18,3	26,8	20,6	13,8	7,7	4,1	3,0	802	1,672	0,042	17,718$\pm$0,06
3. Fisch 36 „ „	1,5	0,8	1,1	10,6	33,2	24,9	12,5	6,8	5,3	3,4	265	1,66	0,072	17,872$\pm$0,102
Summa „ „	0,8	1,9	4,3	15,1	28,7	22,3	12,1	7,2	4,8	2,6	1468	1,70	0,06	17,67 $\pm$0,08

Tabelle 23 (zu Kurve 17). Dressurfarbe: 438 $\mu\mu$.

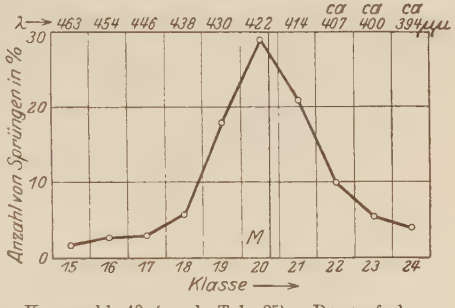
Klasse	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23				
Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	473	463	454	446	438	430	422	414	etwa 407	etwa 400	n	σ	mσ	M $\pm$ m
1. Fisch 4 Sprünge vH.	1,6	4,7	7,5	14,0	22,6	24,5	16,6	4,9	2,1	1,6	429	1,753	0,06	18,395$\pm$0,085
2. Fisch 34 „ „	[7,8	5,2]	5,2	16,5	21,9	20,3	11,8	6,8	2,8	1,7	424	1,48	0,051	18,57 $\pm$0,072
3. Fisch 47 „ „	2,2	2,6	5,5	17,5	29,2	17,9	8,4	6,6	6,2	4,0	274	1,945	0,081	18,544$\pm$0,12
Summa „ „	1,9	3,7	6,1	16,0	24,6	20,9	12,3	6,1	3,7	2,4	1127	1,73	0,064	18,503$\pm$0,09

bewirkt die flachere Senkung des Kurvenschenkels der langwelligen Seite eine noch unbedeutende Rückverlagerung des Mittelwertes. σ ist weiter gestiegen und die Höhe gesunken. Die Kurve 16 zeigt, daß bis zum äußersten Violett relativ reger Besuch herrscht. Das Farbtongefälle, das von 473 $\mu\mu$ an dauernd sank, bleibt demnach gering.

Bei der folgenden *Dressurfarbe*, 438 $\mu\mu$ (Kl. 18; Kurve 17, Tab. 23), tritt eine bedeutende Änderung des σ- und Höhenwertes nicht ein; der Mittelwert rückt wieder zurück, obwohl er noch stark ins kurzwellige Gebiet verschoben ist, vor allem dadurch, daß 430 $\mu\mu$ und 422 $\mu\mu$ starken Besuch erhalten und noch die Farbstreifen des äußersten Violetts vor denen des langwelligen Indigoblaus bevorzugt werden. Immerhin zeigen Mittelwert und σ-Wert, daß eine weitere Herabsetzung des Farbreizgefälles am kurzwelligen Ende nicht mehr stattfindet. Die Kurve des Fisches 34, der vor dieser Dressur auf 512 $\mu\mu$ dressiert worden war, weist einen Helligkeitsgipfel auf.



Kurvenabb. 18 (vergl. Tab. 24). Dressurfarbe: 430 $\mu\mu$ = Kl. 19.



Kurvenabb. 19 (vergl. Tab. 25). Dressurfarbe: 422 $\mu\mu$ = Kl. 20.

Im Wellenlängenbezirk von 473—438 $\mu\mu$ *sind demnach Dressuren auf fünf Farbnüancen gelungen.* Die Sicherheit, mit der die Ellritze in diesem Bereich, der für das menschliche Auge ein sehr schwaches Farbtongefälle aufweist, dressierbar ist, ist überraschend groß und schon Schiemenz aufgefallen (S. 194).

5. Violett.

Alle drei Kurven der *Dressur* auf 430 $\mu\mu$ (Kl. 19; Kurve 18, Tab. 24) zeigen einen Helligkeitsgipfel auf 473 $\mu\mu$. In den Kurven der Fische 26 und 39 ist der Besuch von 463 $\mu\mu$ außerordentlich gering; deshalb ist es sehr wahrscheinlich, daß bei ihnen die Reaktionen auf 473 $\mu\mu$ nur auf Helligkeitswirkung zurückgehen, so daß Farbreizsprünge auf diesen Streifen kaum eintreten; in der von Helligkeitseinflüssen freien Dressurkurve wäre 473 $\mu\mu$ demnach mit nahezu 0 vH. besucht worden. Um aber keinesfalls auch nur eines Farbreizsprunges verlustig zu gehen, wurden in der Kurve des Fisches 21 die Sprünge auf 463 $\mu\mu$, obwohl sie fraglos Helligkeitseinflüsse zeigen, völlig mitgezählt. Die Streuung der

Tabelle 24 (zu Kurve 18). Dressurfarbe: 430 $\mu\mu$.

Klasse	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23				
Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	473	463	454	446	438	430	422	414	etwa 407	etwa 400	n	σ	mσ	M $\pm$ m
1. Fisch 21 Sprünge vH.	[7,0]	3,2	2,8	9,5	19,4	24,1	17,1	10,1	5,0	1,8	560	1,69	0,051	19,002$\pm$0,072
2. Fisch 26 „ „	[3,2]	1,4	2,2	5,8	18,2	25,8	22,6	12,0	6,4	2,6	501	1,58	0,05	19,353$\pm$0,072
3. Fisch 39 „ „	[2,5]	0,3	2,8	9,0	16,1	23,2	19,2	13,2	10,4	3,1	346	1,69	0,064	19,468$\pm$0,091
Summa „ „	—	1,6	2,6	8,1	17,9	24,4	19,6	11,8	7,3	2,5	1407	1,65	0,055	19,274$\pm$0,08

Tabelle 25 (zu Kurve 19). Dressurfarbe: 422 $\mu\mu$.

Klasse	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	463	454	446	438	430	422	414	etwa 407	etwa 400	etwa 394	n	σ	mσ	M $\pm$ m
1. Fisch 6 Sprünge vH.	2,5	4,5	5,2	7,0	14,9	21,7	17,6	9,9	8,8	7,7	443	2,20	0,074	20,185$\pm$0,104
2. Fisch 25 „ „	0,8	0,9	2,8	6,4	19,9	32,5	21,6	9,4	3,2	2,6	533	1,53	0,047	20,118$\pm$0,066
3. Fisch 30 „ „	[2,1	0,8]	0,5	3,6	19,1	33,2	23,7	10,8	4,4	1,8	596	1,26	0,037	20,425$\pm$0,052
Summa „ „	1,7	2,7	2,8	5,7	18,0	29,1	21,0	10,0	5,5	4,0	1572	1,66	0,053	20,243$\pm$0,075

Kurve 18 hat also bei dieser Elimination der Helligkeitsgipfel eher einen zu großen als zu geringen Betrag erhalten. Der Mittelwert der Kurve ist der Mode bedeutend nähergerückt; die Streuung ist gesunken.

Es ist nun sehr bemerkenswert, daß der σ-Wert der letzten Dressurwellenlänge des sichtbaren Spektrums (422 $\mu\mu$ Kl. 20; Kurve 19, Tab. 25) gleichfalls hinter dem von 438 $\mu\mu$ und 446 $\mu\mu$ zurückbleibt. Da unter den dressierten Tieren Fisch 6 hochgradig unsicher ist, ist der Wert wohl genügend gesichert. *Die Lichter des Violett zwischen* 430 *und* 420 $\mu\mu$ *sind für die Ellritze demnach besser unterscheidbar als die Wellenlängen* 446 *und* 438 $\mu\mu$. Die Höhe der Kurve 19 ist um 5 vH. gestiegen, während der Mittelwert noch etwas dichter an die Mode heranrückt. Daß er immer noch nach der kurzwelligen Seite verschoben ist, beruht auf der gleichmäßig geringen Unterscheidbarkeit der Farbstreifen dieser Seite, derzufolge die Kurve nicht die Abszisse erreicht.

6. Ultraviolett.

Der unserem Auge sichtbare Bereich wird in den letzten Versuchen von den Sprüngen der Ellritzen schon weit überschritten. Bereits bei etwa 410 $\mu\mu$ wird die Sichtbarkeit des von mir verwendeten Spektrums für das Menschenauge so gering, daß ich als kürzestwelligen Violettstreif nur noch 414 $\mu\mu$ messen konnte.

Die Intensität des Spektrums ist im Ultraviolett bei der gewählten Versuchsanordnung sehr gering. Da die Ellritze, wie die letzten Kurven zeigen und auch Schiemenz schon beobachtete, das Ultraviolett trotzdem anspringt, wurden auch Dressuren auf Ultraviolettstreifen der Spektralleiter versucht, um festzustellen, ob auch innerhalb des Ultravioletts verschiedene Farbtonnüancen unterschieden werden.

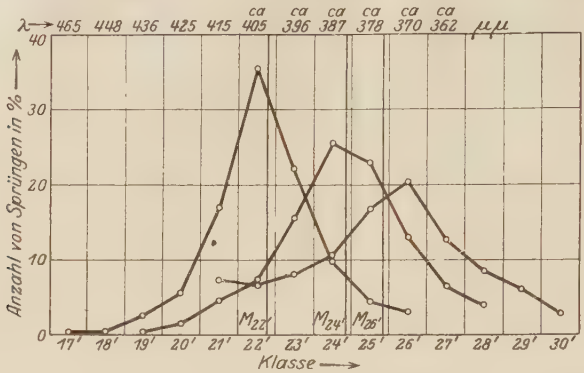
Der Spektralapparat wurde bei den Ultraviolettdressuren, um die Intensität des Lichts zu verstärken, um 40 cm näher an das Versuchsgefäß herangerückt, so daß die Dispersion erheblich verringert wurde. Hierdurch erhielten die Streifen der Spektralleiter andere λ-Werte und es wurde verhindert, diese Ergebnisse an die Zahlenwerte der Kurven der anderen Spektralleiter unmittelbar anzuschließen. Aus den Werten der λ-Abstände benachbarter Dressurstreifen des sichtbaren Spektrums wurde die ungefähre Wellenlänge der betreffenden Ultraviolettstreifen berechnet[1]).

Der erste Dressurstreifen jenseits des für unser Auge unter den Versuchsbedingungen sichtbaren Bereichs muß etwa bei der mittleren λ 404—405 $\mu\mu$ (Kl. 22′; Kurve 20, Tab. 26) liegen. Ich dressierte 2 Tiere.

Fisch 1 war von Schiemenz übernommen, der ihn auf den 365 $\mu\mu$-Streifen des Quecksilberbogenlichtes dressiert hatte. Der Umstand, daß ich ihn auf

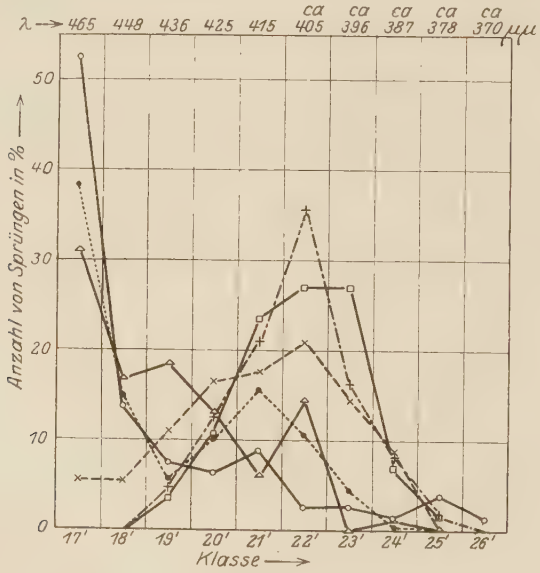
[1]) Die Klassen dieser Spektralleiter wurden mit einem Strich (Kl. 20′ z. B.) versehen.

das sehr viel intensitätsschwächere Licht des Kohlebogenlichtes umdressierte, war wohl die Ursache zur Herausbildung einer lehrreichen Kurve (Kurve 21). Das Tier bevorzugte lange Zeit das längstwellige, also intensitätsstärkste Licht



Kurvenabb. 20 (vergl. Tab. 26–28). 3 Dressurkurven. Dressurfarbe: 1) etwa 405 $\mu\mu$ = Kl. 22'; 2) etwa 387 $\mu\mu$ = Kl. 24'; 3) etwa 370 $\mu\mu$ = Kl. 26'.

der dargebotenen Spektralleiter. Allmählich gewann dann der Dressurfarbreiz (etwa 405 $\mu\mu$) über den Helligkeitsreiz die Oberhand, so daß „Helligkeits-



Kurvenabb. 21. Fisch 1. Dressurfarbe etwa 405 $\mu\mu$ = Kl. 22'.

sprünge" schließlich ganz unterblieben. Die Kurve wird aus dem Zahlenmaterial fortgelassen, da der Helligkeitsreiz wahrscheinlich dauernd noch mit dem der Dressurqualität interferiert.

Tabelle 26 (zu Kurve 20). Dressurfarbe: etwa 405 $\mu\mu$.

Klasse	17′	18′	19′	20′	21′	22′	23′	24′	25′	26′				
Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	465	448	436	425	415	etwa 405	etwa 396	etwa 387	etwa 378	etwa 370	n	σ	mσ	M ± m
[Fisch 1 Sprünge vH.	2,0	2,0	5,2	10,8	20,2	29,7	17,5	7,9	1,7	1,7	343	1,67	—	21,685′ ± 0,09]
1. Fisch 7 „ „	0,2	0,3	2,5	5,6	17,0	35,3	22,0	9,7	4,4	2,9	589	1,45	0,042	22,282′ ± 0,06

Tabelle 27 (zu Kurve 20). Dressurfarbe: etwa 387 $\mu\mu$.

Klasse	19′	20′	21′	22′	23′	24′	25′	26′	27′	28′				
Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	436	425	415	etwa 405	etwa 396	etwa 387	etwa 378	etwa 370	—[1])	—	n	σ	mσ	M ± m
1. Fisch 31 Sprünge vH.	0	2,1	6,7	6,2	13,9	23,1	21,6	13,9	7,7	5,1	195	1,854	0,094	24,385′ ± 0,136
2. Fisch 33 „ „	0,3	0,6	2,2	7,7	16,8	27,9	24,5	11,8	5,0	3,0	363	1,54	0,057	24,328′ ± 0,087
Summa „ „	0,2	1,4	4,5	7,0	15,4	25,5	23,1	12,9	6,4	4,1	558	1,70	0,076	24,357′ ± 0,11

Tabelle 28 (zu Kurve 20). Dressurfarbe: etwa 370 $\mu\mu$.

Klasse	21′	22′	23′	24′	25′	26′	27′	28′	29′	30′				
Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	415	etwa 405	etwa 396	etwa 387	etwa 378	etwa 370	—	—	—	—	n	σ	mσ	M ± m
1. Fisch 15 Sprünge vH.	7,2	6,8	8,0	10,5	16,7	20,6	12,8	8,4	6,2	2,9	486	2,29	0,074	25,347′ ± 0,104

[1]) λ des Spektralausschnitts nicht genau genug bestimmbar.

Tabelle 29. Reaktionen eines auf 365 $\mu\mu$ des Hg-Lichtes dressierten Tieres auf die Spektralleiter eines Kohlenbogenlichtes.

a) Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	430	422	414	etwa 407	etwa 400	etwa 394	etwa 388	etwa 382	etwa 376		n
Anzahl v. Sprüngen . .	2	3	1	1	6	13	9	29	27	14	105
„ Sprünge vH. . .	1,9	2,9	1,0	1,0	5,7	12,4	8,6	**27,6**	25,8	13,3	

b) Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	436	425	415	etwa 405	etwa 396	etwa 387	etwa 378	etwa 370			
Anzahl v. Sprüngen . .	6	3	4	6	6	13	18	8	3	0	67
„ Sprünge vH. . .	9,0	4,5	6,0	9,0	9,0	19,4	**26,8**	12,0	6,0	0	

Die Kurve von Fisch 7 hat einen nach dem kurzwelligen Bereich verschobenen Mittelwert. Streuung und Höhenwert sind ziemlich niedrig und entsprechen wahrscheinlich annähernd denen der Dressur auf 422 $\mu\mu$.

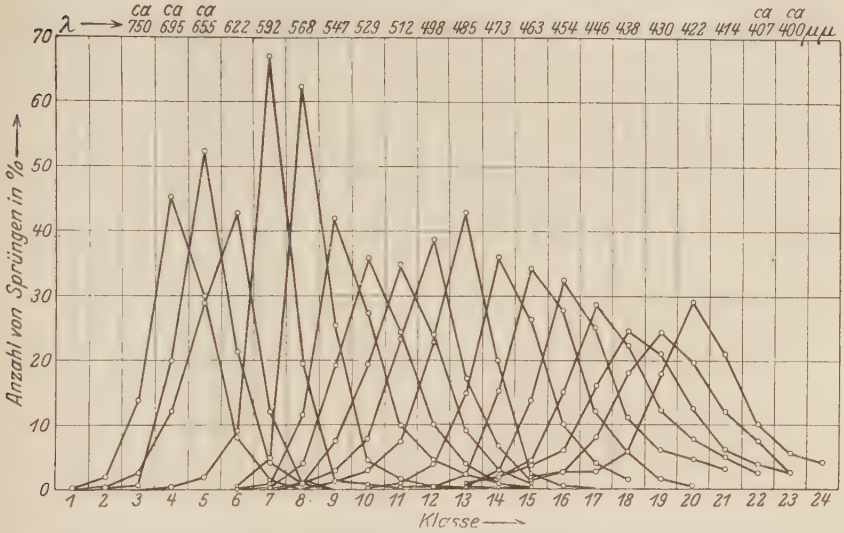
Der nächste Dressurstreifen im U-Violett ist der zweitbenachbarte kurzwellige Farbstreifen der Wellenlänge etwa 405 $\mu\mu$. Er entspricht einer mittleren *Wellenlänge von etwa* 386—388 $\mu\mu$ (Kl. 24′; Kurve 20, Tab. 27). Der Mittelwert ist bei beiden Dressuren, die ausgeführt wurden, noch stärker als der der Kurve von Fisch 7 in den kürzerwelligen Bereich verschoben; *das Farbreizgefälle ist also geringer nach der kürzerwelligen als nach der längerwelligen Seite.* σ ist stark gestiegen. Die Kurven der Fische 31 und 33 stimmen gut überein.

Die letzte Dressur gelang bei etwa 370 $\mu\mu$ (Kl. 26′; Kurve 20, Tab. 28).

M ist außerordentlich ins langwellige Gebiet verschoben, die Streuung erreicht einen extrem hohen Wert. Die Bevorzugung der längerwelligen Streifen und die große Unsicherheit erklärt sich durch den steilen Helligkeitsabfall im Ultraviolett. Beachtenswert ist, daß trotz der sehr geringen Intensität noch bis erheblich unter 360 $\mu\mu$ die Streifen (28′, 29′, 30′ etwa bei 340 $\mu\mu$) einzelne Sprünge erhalten. Mit höheren Ultraviolettintensitäten wären jedenfalls viel günstigere Ergebnisse zu erzielen. Immerhin zeigen die von mir ausgeführten Versuche, daß *auch innerhalb des Ultravioletts noch verschiedene Spektralabschnitte unterschieden werden.*

Weiterhin führte ich zwei Dressuren auf die 365 $\mu\mu$-*Linie des Quecksilberbogenlichtes* durch. Die Dauer der Andressur betrug bei diesem intensiven Licht etwa 8 Tage, während die auf das Ultraviolett des Kohlebogenspektrums über 4 Wochen in Anspruch nahm.

Die Reaktionen, die eine auf das U-Violett des Hg-Lichtes dressierte Ellritze *in der Spektralleiter* zeigte, sind beweiskräftig für die *besondere Reizqualität des Ultravioletts*. Aus Tab. 29 geht hervor, daß das Ultraviolett der Spektralleiter vorwiegend besprungen wird; das Violett ist viel schwächer besucht, zeigt allerdings eine kleine Anhäufung an den längstwelligen Streifen des gebotenen Bereichs. Das Ultraviolett unterhalb 370 $\mu\mu$ ist aber auch schwach angesprungen, obwohl das Tier auf die 365 $\mu\mu$-Linie dressiert war. Man hat wohl Recht, Helligkeitsabweichung ins längerwellige Ultraviolett anzunehmen. Wäre Ultraviolett



Kurvenabb. 22. Die Dressurfarbkurven des Spektrums von etwa 695—422 $\mu\mu$.

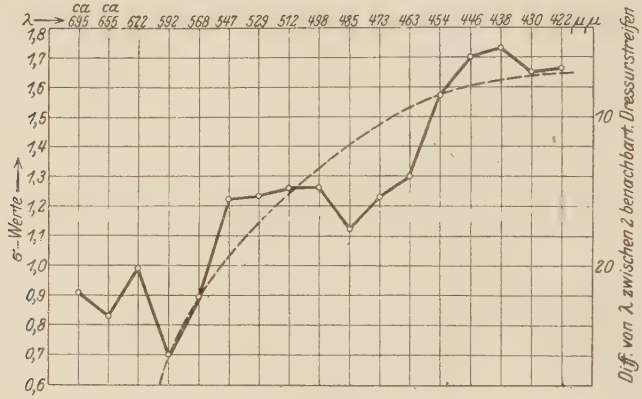
aber nur der Intensität nach vom Violett unterschieden, so hätte der Fisch das Ultraviolett der Spektralleiter, das offenbar viel weniger hell als das des Hg-Lichtes ist, nicht vor Violett bevorzugen dürfen.

V. Die Empfindlichkeit für Wellenlängenunterschiede im Spektrum.

Während Schiemenz erst 6 Hauptqualitäten nachweisen konnte, zeigen die besprochenen Dressurkurven (zusammengestellt in Abb. 22) mit der Spektralleiter, daß *die Ellritze von jeder Hauptqualität (außer Gelb) eine Anzahl feinerer Farbnüancen zu unterscheiden vermag.* Da die Kurven unmittelbar zeigen, ob eine Farbe sicher oder unsicher von den Nachbarfarben unterschieden wird, so ergibt ein Vergleich der Zahlenwerte aller Kurven ein Bild der Empfindlichkeit der Ellritze für Wellenlängenunterschiede im Spektrum.

1. Die σ-Werte der Kurven.

Die Streuung der einzelnen Kurven (σ) ist das Maß für das Farbunterscheidungsvermögen im betreffenden Wellenlängenbezirk. Trägt man die σ-Werte der Kurven 4—20 auf der Ordinate eines Koordinatensystems ein, während auf der Abszisse die zugehörige Wellenlänge entsprechend der bei den Versuchen angewandten Dispersion eingezeichnet wird, so erhält man eine vom Rot nach dem Violett zu im allgemeinen ansteigende Kurve (Kurve 23); die nach dem kurzwelligen Ende des sichtbaren Spektrums zunehmende Dispersion ist aus den Wellenlängenabständen der benachbarten Dressurfarbstreifen berechnet und als Kurve mit eingetragen. *Die entsprechend der Dispersion ansteigende σ-Kurve zeigt einen wellenförmigen Verlauf. Drei Kurventäler bezeichnen empfindliche Gebiete; sie liegen bei* 592 $\mu\mu$, 485 $\mu\mu$ und 430—420 $\mu\mu$. Ein kleiner



Kurvenabb. 23. σ-Kurve. Links: Skala für die σ-Kurve, rechts: Skala für die Dispersionskurve.

Kurvensattel findet sich ferner noch bei etwa 655 $\mu\mu$. Bei 547 $\mu\mu$ und 446—438 $\mu\mu$ liegen sehr unempfindliche Gebiete. Ferner liegt bei 622 $\mu\mu$ ein dritter Gipfel der σ-Kurve.

Es lag nahe, diese Kurve der Unterschiedsempfindlichkeit der Ellritze mit der Kurve zu vergleichen, die für das *menschliche Auge* die Empfindlichkeit für Wellenlängenunterschiede im Spektrum darstellt. Hier soll die letzthin erschienene Arbeit von H. Laurens und W. F. Hamilton (1923) herangezogen werden. Die Verfasser stellten mit intensitätsgleichen Lichtern fest, wie groß in $\mu\mu$ an bestimmten Punkten des Spektrums der geringste Wellenlängenabstand ist, der eben einen Farbunterschied ergibt. Je geringer der Wellenlängenabstand ist, um so besser ist die Farbunterscheidung. Die Kurve, die Laurens und Hamilton aus der Zusammenstellung der einzelnen Werte erhielten, zeigt nun mit unserer σ-Kurve erstaunliche Übereinstimmung. *Die*

Hauptmaxima der Farbtonunterscheidung liegen hier wie dort im Gelb (580—590 $\mu\mu$) *und im Grünblau* (480—490 $\mu\mu$); *zwei kleinere Maxima* fanden Laurens und Hamilton bei etwa 625—635 $\mu\mu$, an der Grenze von Rot und Orange, und bei etwa 440—425 $\mu\mu$, an der Grenze zwischen Indigo und Violett. Die Lage dieser beiden empfindlichen Gebiete schwankt etwas in den Kurven verschiedener Versuchspersonen. *Das Maximum um* 430 $\mu\mu$ *der* σ*-Kurve ist zweifellos identisch mit dem bei* 440—425 $\mu\mu$ *für den Menschen gefundenen.* Auffällig ist auch, daß das reine Rot (etwa 655 $\mu\mu$) geringere Streuung hat als das gelbliche Rot (622 $\mu\mu$). Eine sichere Entscheidung, ob dieser Differenz eine Einwirkung des von Laurens und Hamilton festgestellten Maximums zugrunde liegt oder nicht, ist aber nicht möglich, da die sehr geringe Dispersion im Rot nur sehr wenige Kurvenpunkte durch Dressur festlegen ließ.

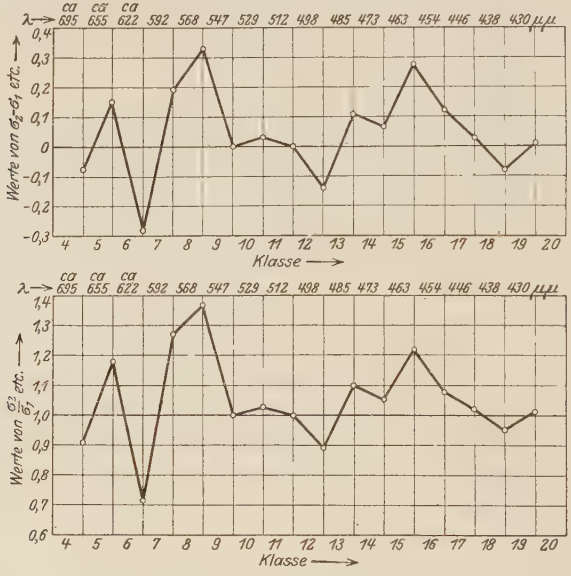
Schließlich fanden Laurens und Hamilton ein fünftes, sehr schwaches Maximum bei etwa 525 $\mu\mu$. Nun ist in der σ-Kurve der Wert bei 529 $\mu\mu$ gegenüber dem von 547 $\mu\mu$ nicht gestiegen, trotz bedeutender Zunahme der Dispersion. Aber es läßt sich nicht entscheiden, ob eine tatsächliche Wirkung dieses 5. Maximums vorliegt oder ob zufällige individuelle Einflüsse diese Wirkung nur vortäuschen.

Die Lage der Minima der Farbunterscheidung bei Laurens *und* Hamilton *stimmt mit der bei der* σ*-Kurve gleichfalls gut überein.* Sie finden sich dort vom Rot zum Violett hin bei etwa folgenden Wellenlängen: etwa 650 $\mu\mu$, etwa 610 $\mu\mu$, etwa 540 $\mu\mu$, etwa 450 $\mu\mu$ und schließlich 420 $\mu\mu$. Die Minima im Rot lassen sich infolge der äußerst starken Zusammenziehung der Wellenlängen ebensowenig sicherstellen wie das erwähnte Maximum. Die zwei folgenden Minima (Grün und U-Blau) stimmen sehr gut überein. Dagegen nimmt bei 420 $\mu\mu$ die Unterschiedsempfindlichkeit der Ellritze nicht so ab, wie die des Menschen. Ein weiteres Minimum fanden Laurens und Hamilton noch bei 510 $\mu\mu$, es ist in der σ-Kurve ebensowenig ausgeprägt wie das Maximum bei 525 $\mu\mu$.

Der Vergleich der mit völlig verschiedener Methodik gewonnenen Kurven ergibt, daß die *Empfindlichkeit für Wellenlängenunterschiede im Spektrum von Rot bis Violett für Mensch und Ellritze weitgehend übereinstimmt.* Die einzige wesentliche Differenz liegt *bei* 422 $\mu\mu$, *wo die Ellritze besser als der Mensch unterscheidet*; diese Abweichung ist durch die hohe *Ultraviolettempfindlichkeit* der Ellritze erklärlich. Die σ-Werte der drei Ultraviolettdressuren steigen mit den kürzeren Wellen steil an; der starke Intensitätsabfall in diesem Gebiet macht die Werte, insbesondere den von etwa 370 $\mu\mu$, aber ziemlich unsicher, so daß Schlüsse über die Unterschiedsempfindlichkeit nicht gezogen werden sollen.

Wenn man die *Differenzen oder die Quotienten der* σ*-Werte jeweils*

aufeinanderfolgender Dressurwellenlängen berechnet und die Werte entsprechend wie bei der σ-Kurve in ein Koordinatensystem einträgt, so wird der *Unterschied zwischen zwei benachbarten σ-Werten* anschaulich gemacht (Kurve 24). Die Werte schwanken bei der Differenzkurve um 0 ($\sigma_2 - \sigma_1 = 0$ bei Gleichheit der Werte), in der Quotientenkurve um 1 $\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1\right)$[1]). Die Amplitude der Schwankungen wird unter dem Einfluß der von Rot zum Violett zunehmenden Dispersion nach dem kurzwelligen Ende hin kleiner. Je größer der Unterschied der Streuung zweier benachbarter Werte ist, um so steiler verläuft die Kurve, und zwar fällt sie bei kleiner werdenden Werten ab und steigt bei wachsenden



Kurvenabb. 24. Differenzkurve (oben) und Quotientenkurve (unten) der σ-Werte.

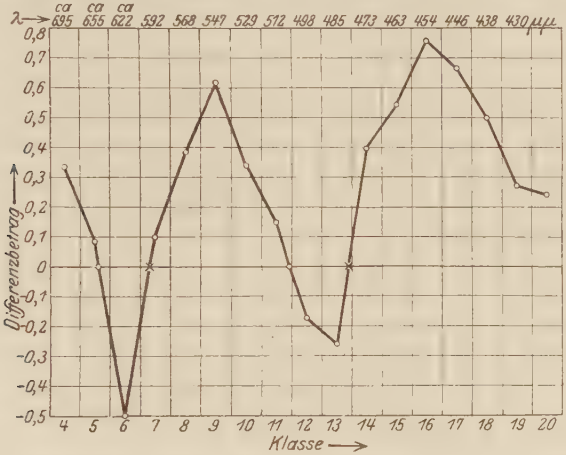
an. Die Änderung der Streuung ist demnach groß von Orange bis Hellgrün (etwa 650—550 $\mu\mu$) und von Blaugrün bis ins langwellige U-Blau (etwa 500—450 $\mu\mu$), schwach zwischen etwa 450—420 $\mu\mu$ und gleichfalls gering im Grün zwischen 550—500 $\mu\mu$. In diesem Bezirk ändert sich also das Farbtongefälle wenig.

2. Die Lage der Mittelwerte der Kurven.

Der Mittelwert (M) gibt Richtung und Verteilung der Abweichungen von der Mode (A) = Dressurwellenlänge wieder; wenn man dem Diffe-

[1]) σ nach den Dressurklassen bezeichnet, z. B. σ_4 = σ-Wert der Dressurklasse 4 (= etwa 655 $\mu\mu$), vgl. Tab. 8 u. folg.

renzbetrag zwischen A und M positives Vorzeichen gibt, falls der Mittelwert nach der kurzwelligen Seite verschoben ist, und negatives bei Verschiebung nach dem langwelligen Ende des Spektrums, so ergibt sich bei Eintragung der Werte mit den zugehörigen Wellenlängen in ein Koordinatensystem eine Kurve (Kurve 25), die einen wellenförmigen Verlauf zeigt. Steigt dieselbe an, so tritt eine M-Verlagerung nach dem kurzwelligen Ende der Spektralleiter ein, sinkt sie dagegen, so verschiebt sich M in der entgegengesetzten Richtung. Bei 650, 595, 505, 480 $\mu\mu$ geht die Kurve durch die Nullinie: an diesen Punkten herrscht Gleichgewicht der beiden Schenkel der Fehlerkurve. Maxima der Kurvenverschiebung nach den längeren Wellen liegen bei den Wellenlängen: 622 $\mu\mu$, 485 $\mu\mu$, die entgegengesetzte Verschiebung ist am stärksten bei λ : 695 $\mu\mu$, 547 $\mu\mu$ und 454 $\mu\mu$. Bei 422 $\mu\mu$ ist der Mittelwert bereits



Kurvenabb. 25. Differenzkurve zwischen Mode und Mittelwert (M—A). × Knotenpunkte mit niederer Streuung.

nahe an die Mode gerückt; bei den Werten der Ultraviolettdressuren von etwa 405 und etwa 387 $\mu\mu$ ist aber der positive Abstand von der Nullinie bereits wieder größer. Ob die Nullinie zwischen 422 und etwa 405 $\mu\mu$ erreicht oder gar geschnitten wird, ist nicht zu sagen.

Von besonderer Bedeutung für die Farbtonbeziehungen im Spektrum sind die vier Wellenlängen, in denen die Nullinie geschnitten wird. *Viermal ist zwischen* 695—422 $\mu\mu$ *das Farbtongefälle nach beiden Seiten gleich groß.* Diese vier Punkte liegen nun teilweise in Gebieten von sehr kleiner Streuung (595, 480 $\mu\mu$) und teilweise in solchen von relativ hohem σ-Wert, in Bezirken geringer Empfindlichkeit (650, 505 $\mu\mu$). *Bei* 595 $\mu\mu$ *und* 480 $\mu\mu$ *ist also das Farbtongefälle nach den Seiten gleich steil, bei* 650 *und* 505 $\mu\mu$ *gleich flach.*

So wird durch die Analyse der Mittelwertkurve das *Spektrum in*

Tabelle 30. Reaktionen zweier auf ein Purpurfilterlicht dressierter Ellritzen im langwelligen Bereich des Spektrums.

Klasse / Spektralstreifen λ in $\mu\mu$	3 etwa 750	4 etwa 655	5 etwa 655	6 622	7 592	8 568	9 547	10 529	11 512	12 498	n
Fisch 4 Sprünge vH.	2,1	40,3	44,1	11,2	2,1	0	0	0	0	0	759
Fisch 19 „ „	0,7	26,1	52,9	18,7	0,6	0	0	0	0	0	1370

Tabelle 31 a. Auf kurzwelliges Licht dressierte Ellritzen in ihren Reaktionen auf langwelliges Licht.

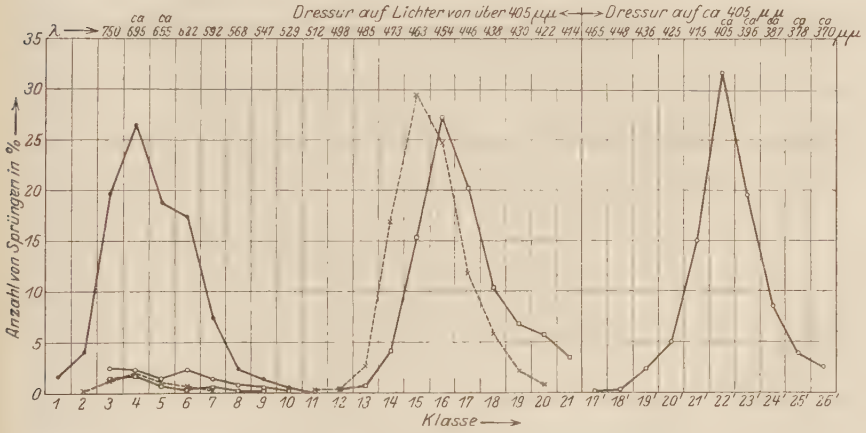
Fisch-Nr.	Dressur λ $\mu\mu$	Kl. 1 λ in $\mu\mu$	2 —	3 etwa 750	4 etwa 695	5 etwa 655	6 622	7 592	8 568	9 547	10 529	Sa.	n
6 Sprünge vH.	422 etwa	3,3	6,7	13,3	30,0	16,7	30,0	—[1]	—	—	—	100	30
7 „ „	405	—	—	21,6	20,3	13,5	20,3	12,2	6,8	4,1	1,4	100,2	74
9 „ „	446	0	25	50	25	0	0	0	0	0	0	100	4
13 „ „	454	—	—	28,9	31,6	13,2	5,3	10,5	5,3	5,3	0	100,1	38
21 „ „	430	0	0	8,4	25	33,3	33,3	—	—	—	—	100	12
25 „ „	422	0	16,7	33,3	50	0	0	—	—	—	—	100	6
28 „ „	463	0	3,3	23,3	43,3	16,7	10,0	3,3	0	0	0	99,9	30
26 „ „	430	0	0	0	50	0	50	0	—	—	—	100	2
45 „ „	454	0	4	16	24	28	20	8	0	0	0	100	25
50 „ „	473	0	0	6,1	20,4	36,7	22,4	12,2	0	0	2,0	99,8	49
49 „ „	454 etwa	17,6	11,8	23,5	23,5	11,8	11,8	0	0	0	0	100	17
15 „ „	370	8,3	33,4	41,8	16,7	0	0	—	—	—	—	100,2	12
Summa	vH.	1,7	4,0	19,7	26,4	18,7	17,4	7,4	2,4	1,7	0,7	100,1	299

[1]) — bedeutet, daß die betr. Wellenlänge nicht mitgeboten wurde.

die drei breiten Bezirke der Rot-, Grün- und Violettähnlichkeit zerlegt, die voneinander durch zwei sehr schmale Gebiete von sehr hohem Farbtongefälle, Gelb und *Cyanblau, getrennt sind.*

VI. Das Problem des Farbenkreises.

Ellritzen wurden auf das Licht eines *Purpurfilters*, das Strahlen von 600 $\mu\mu$ aufwärts und 470 $\mu\mu$ abwärts durchläßt, dressiert. Es läßt sich zeigen, daß die Tiere *dieses Mischlicht als eigene Qualität* wahrnehmen. Wurde ihnen die Spektralleiter geboten, so sprangen sie Wellen von über 600 $\mu\mu$ und schwächer solche von etwa 475 $\mu\mu$ abwärts bis tief ins Ultraviolett an. Projizierte ich aber neben die Streifen der Spektralleiter einen gleichbreiten Streifen des Purpurlichtes, so wurde dieses stets vor den übrigen Farbstreifen ganz erheblich bevorzugt, auch bei mäßiger Intensitätsherabsetzung des Purpurlichtes.



Gesamtheit aller Reaktionen auf langwell. Licht (in vH.) ·—·—·, Fisch 7: o—o—o, Fisch 13: □—□—□, Fisch 28: ×---×---×.

Kurvenabb. 26 (vergl. Tab. 31 b). Reaktionen von Ellritzen auf Rot, die auf kurzwelliges Licht dressiert sind.

Ich erhielt bei zwei der auf Purpur dressierten Tiere eine Fehlerkurve für die Reaktionen im Rot (Tab. 30). Fisch 4 besucht die Wellenlänge etwa 695 $\mu\mu$ fast gleich stark wie das viel hellere Licht etwa 655 $\mu\mu$; das Verhalten wäre bei der großen Reizwirkung starker Helligkeit unverständlich (vgl. S. 292), wenn nicht die Farbwirkung von etwa 695 $\mu\mu$ ebenso stark wäre wie die Farb- *und* Helligkeitswirkung der Wellenlänge etwa 655 $\mu\mu$. Mit anderen Worten: etwa 695 $\mu\mu$ muß also „bläulicher" als λ etwa 655 $\mu\mu$ sein.

Die Veranlagung der Ellritze, der Dressurfarbe noch entfernt farbverwandte Wellenlängen anzuspringen, ermutigte nun zu dem Versuch, auf Rot dressierten Tieren unmittelbar die kurzwelligen Lichter, den

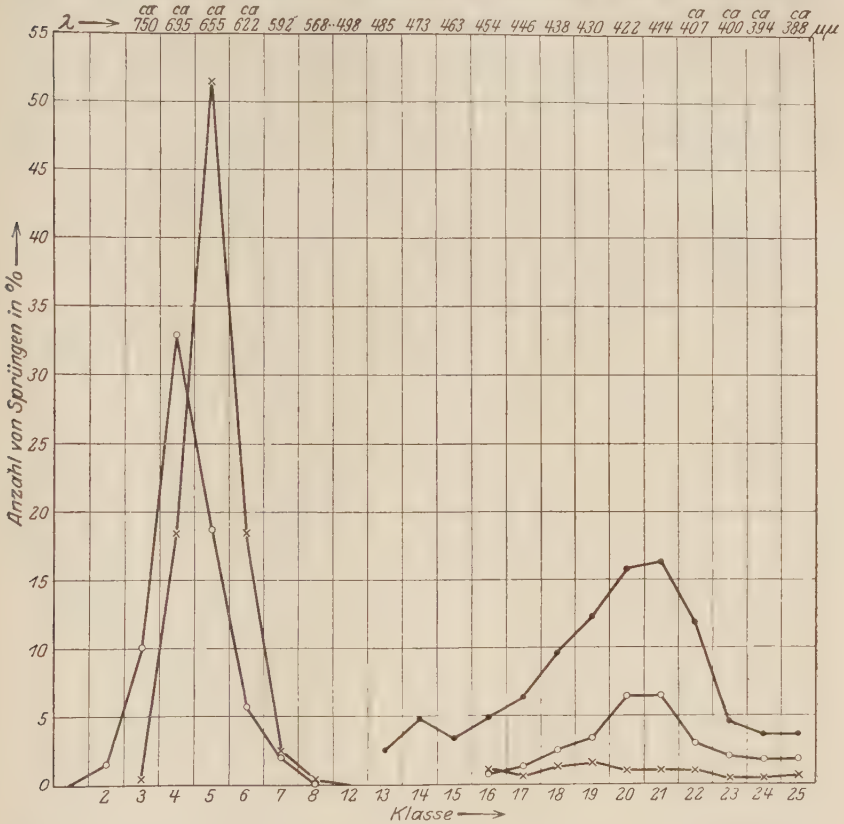
Tabelle 31b. Gesamtreaktionen der Fische 7, 13, 28 an der Spektralleiter (in vH.; Dressurkurve + Reaktionen in Tab. 31a).

Klasse	3	4	5	6	7	8	9	10	17′	18′	19′	20′	21′	22′	23′	24′	25′	26′	Sa.	n
λ in $\mu\mu$	etwa 750	etwa 695	etwa 655	622	592	568	547	529	465	448	436	425	415	etwa 405	etwa 396	etwa 387	etwa 378	etwa 370		
Fisch 7:														(Dressurfarbe)						
Sprünge vH.	2,4	2,3	1,5	2,3	1,4	0,8	0,5	0,2	0,2	0,3	2,3	5,0	15,1	31,5	19,6	8,6	3,9	2,6	100,5	663

Klasse	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Sa.	n
λ in $\mu\mu$		etwa 750	etwa 695	etwa 655	622	592	568	547	529	512	498	485	473	463	454	446	438	430	422	414		
Fisch 13:															(Dressur-farbe)							
Sprünge vH.		1,5	1,7	0,7	0,3	0,6	0,3	0,3	0	0	0,3	0,8	4,1	15,3	27,2	20,2	10,2	6,9	5,8	3,5	100,2	713
Fisch 28:														(Dressur-farbe)								
Sprünge vH.	0,2	1,4	2,2	0,8	0,5	0,2	0	0	0	0,3	0,3	2,7	16,9	29,4	24,7	11,8	5,8	2,2	0,8	—	100,2	591

auf diese dressierten Fischen dagegen die längstwelligen Teile des sichtbaren Spektrums in der Spektralleiter darzubieten.

Ellritzen, die auf Ultraviolett oder kurzwelliges Violett dressiert waren, sprangen Rot an (Kurve 26, Tab. 31). Der Fisch 7 bevorzugt die Wellenlängen etwa 750 $\mu\mu$ und etwa 695 $\mu\mu$ stark. Andere, auf Violett oder U-Blau dressierte Ellritzen bespringen teilweise das kurzwellige Rot



Fisch 42: o—o—o; Fisch 43: ×—×—×; Gesamtheit aller Reaktionen auf kurzwelliges Licht in vH.: ·—·—·.

Kurvenabb. 27 (vergl. Tab. 32 b). Reaktionen von Ellritzen auf kurzwelliges Licht, die auf Rot dressiert sind.

häufiger als das langwellige. Selbst Gelb erhält noch eine Anzahl Sprünge. Man muß bedenken, daß die Unsicherheit der Tiere besonders groß ist, da neben den relativ schwachen Farbreizen starke Helligkeitsreize lang und wiederholt auf sie einwirken. Fisch 7 springt beispielsweise Orange (622 $\mu\mu$) häufiger als das Rot der Wellenlänge etwa 655 $\mu\mu$ an (kleiner Helligkeitsnebengipfel, Tab. 31 b und Kurve 26). Wenn alle Reaktionen der auf U-Blau bis U-Violett dressierten Tiere auf langwelliges Licht

Tabelle 32a. Auf langwelliges Licht dressierte Ellritzen in ihren Reaktionen auf kurzwelliges Licht.

Fisch-Nr.	Dressur λ $\mu\mu$	Kl. 13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	Sa.	n
		λ in $\mu\mu$ 485	473	463	454	446	438	430	422	414	etwa 407	etwa 400	etwa 394	etwa 388	etwa 382		
22 Sprünge vH.	1) etwa 695	6,3	11,7	8,1	7,2	9,4	10,8	13,0	10,8	11,7	11,2	—	—	—	—	100,2	223
22 „ „	2) etwa 695	—	—	—	0	1,7	5,2	6,9	17,3	17,3	22,5	13,8	8,6	6,9	—	100,2	58
42 „ „	etwa 695	—	—	—	2,5	4,4	8,4	11,3	22,1	22,1	10,3	6,9	5,9	5,9	—	99,8	203
43 „ „	etwa 655	—	—	—	10,8	6,5	15,3	19,6	10,8	10,8	10,8	4,3	4,3	6,5		99,7	46
Summa	in vH.	2,6	4,9	3,4	4,9	6,4	9,6	12,3	15,8	16,2	12,0	4,5	3,6	3,6		99,8	530

Tabelle 32b. Gesamtreaktionen der Fische 42 und 43 an der Spektralleiter (s. Kurve 27) (in vH.; Dressurkurve + Reaktionen in Tabelle 32a).

Klasse	1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
λ in $\mu\mu$			etwa 750	etwa 695	etwa 655	622	592	568	512	498	485	473	463	454	446	438	430	422	414	etwa 407	etwa 400	etwa 394	etwa 388
Fisch 42:																							
Sprünge vH.	0,2	1,6	10,0	32,8	18,7	5,8	2,0	0	0	0	0	0	0	0,7	1,3	2,4	3,3	6,4	6,4	3,0	2,0	1,8	1,8
Fisch 43:																							
Sprünge vH.	—	—	0,4	18,3	51,4	18,5	2,5	0,2	0	0	0	0	0	1,0	0,6	1,3	1,7	1,0	1,0	1,0	0,4	0,4	0,6

bei Fisch 42: n = 601.
bei Fisch 43: n = 524.

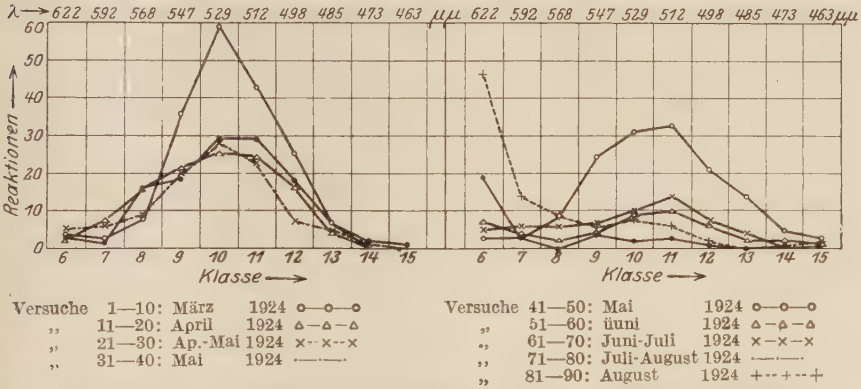
in einer Kurve vereinigt werden (Kurve 26), so zeigt sich der Gipfel bei etwa 695 $\mu\mu$. Dann folgt, was sehr bemerkenswert ist, bereits die Wellenlänge etwa 750 $\mu\mu$, dann erst die kürzeren Wellenlängen (etwa 655, 622 $\mu\mu$).

Ganz entsprechend *bespringen auf Rot dressierte Tiere kurzwelliges Licht vom ersten U-Blau* (473 $\mu\mu$) *an bis tief ins Ultraviolett* (Kurve 27, Tab. 32). Die Gesamtkurve, die sich aus allen Reaktionen ergibt, hat ihren Gipfel bei 414 $\mu\mu$. Daß das Ultraviolett ziemlich schwach besucht ist, beruht offenbar auf seiner geringen Helligkeit. *Die Wellenlängen des kurzwelligen Spektralendes sind somit als rotverwandt erwiesen. Der Farbenkreis der Ellritze ist über Purpur geschlossen.*

Anhang: Über das Gedächtnis für Farbeindrücke.

Zum Schluß mögen einige Beobachtungen über das Gedächtnis der Ellritze mitgeteilt werden.

Das Gedächtnis für Farbeindrücke ist hervorragend entwickelt. Es seien zwei Beispiele gegeben:



Kurvenabb. 28. Das Erlöschen einer Assoziation. Fisch 6. Dressurfarbe: Dunkelgrün.

1. Fisch 6 war von Schiemenz übernommen; am 14. XII. 1923 war er zuletzt bei der Dressurfarbe dunkelgrün (λ nicht gemessen) gefüttert worden. Bis März wurde ohne Farbdarbietung gefüttert. Darauf dressierte ich das Tier auf unzerlegtes Licht um; dieser Dressur parallel ging die Darbietung der Spektralleiter; das Tier sprang die alte Farbe nachweisbar bis August 1924 an. Die Kurve (28) gibt ein Bild einer erlöschenden Assoziation. Die Reaktionshäufigkeit sinkt, die Unsicherheit wird so groß, daß oft Reaktionen erfolgen, die in einem Sprung über 4 und mehr Streifen hinweggehen[1]).

[1]) Merkwürdig ist übrigens bei Kurve 28, daß sich von Juli ab auf dem längstwelligen Streifen (622 $\mu\mu$) der Spektralleiter ein zweiter Gipfel heraus-

2. Ein im Mai 10 Tage lang auf Gelb dressierter Fisch (15), dem am 4. VI. 1924 zum letztenmal bei dieser Farbe Futter gereicht wurde, wurde von Juli bis November auf Ultraviolett dressiert. Am 11. Dezember 1924 wurde ihm die alte Dressurfarbe Gelb zum erstenmal seit dem 4. VI. wiedergeboten; es erfolgte heftige Reaktion. Nicht immer jedoch scheint das Gedächtnis so stark zu sein; andere Tiere reagieren bereits nach 4—8 Wochen nicht mehr.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

1. Die Ellritze ist im allgemeinen sehr farbempfindlich, nur wenige Individuen sind relativ helligkeitsempfindlich.

2. Helligkeitsempfindliche Tiere reagieren bisweilen in einer Spektralleiter auf das hellste Licht in derselben, ohne Rücksicht auf dessen Farbton.

3. Eine Dressur auf Intensitätsstufen des unzerlegten Lichtes gelang nicht; die Tiere bevorzugten das hellste Licht.

4. Der Sehbereich der Ellritze reicht am langwelligen Spektrumende mindestens so weit wie für das menschliche Auge; im kurzwelligen Bereich ist Farbempfindlichkeit bis etwa 340 $\mu\mu$ erwiesen.

5. Es gelang, innerhalb jeder der fünf Hauptqualitäten Rot, Grün, Blau, Violett und Ultraviolett auf eine Anzahl feinerer Farbnüancen zu dressieren. Im ganzen sind auf 20 verschiedene schmale Wellenlängenbezirke des Spektrums Dressuren gelungen.

6. Die Kurve der Empfindlichkeit für Wellenlängenunterschiede im Spektrum weist bei 592 $\mu\mu$, 485 $\mu\mu$ und 430 $\mu\mu$ Maxima, bei etwa 547 $\mu\mu$ und etwa 446 $\mu\mu$ Minima der Empfindlichkeit auf. Also stimmt die Unterschiedsempfindlichkeit mit der des Menschen weitgehend überein.

7. Die langwelligen und kurzwelligen Enden des Spektrums sind farbverwandt. Der Farbenkreis ist geschlossen.

8. Das Alter der Tiere ist von Einfluß auf die Assoziationsbildung, von keinem Einfluß auf den Farbensinn.

9. Das Gedächtnis für Farbeindrücke ist sehr gut.

Literatur.

1. **Burkamp, W.:** Versuche über das Farbenwiedererkennen der Fische. Zeitschr. f. Sinnesphysiol. **55,** H. 3, 133—170. 1923. — 2. **v. Frisch, K.:** Über farbige Anpassung bei Fischen. Zool. Jahrb., Abt. f. Zool. u. Physiol. **32,** 171 bis 230. 1912. — 3. Ders.: Sind die Fische farbenblind? Ebenda **33,** 107—126. 1912. — 4. Ders.: Weitere Untersuchungen über den Farbensinn der Fische.

bildete. Ob es sich da um Wirkungen großer Helligkeit handelt (dann wäre 622 $\mu\mu$ heller als 592 $\mu\mu$!) oder vielleicht um solche des starken Reizwertes der roten Farbe, muß dahingestellt bleiben.

Ebenda **34**, 43—68. 1913. — 6. Ders.: Versuche und Bemerkungen zu Schnurmanns Hypothese v. d. Farbenanpassung „total farbenblinder" Fische. Zeitschr. f. Biol. **80**. 1924. — 7. Ders.: Sinnesphysiologie der Wassertiere. Verhandl. d. dtsch. zool. Ges. 34—42. 1924. — 8. Ders.: Der Farbensinn der Fische und die Duplizitätstheorie. Zeitschr. f. wiss. Biol., Abt. C (f. vergl. Physiol.) **2**, H. 5. 1925. — 9. **v. Hess, C.:** Methoden zur Untersuchung des Licht- und Farbensinns sowie des Pupillenspiels. Abderhaldens Handb. d. biol. Arbeitsmethoden. Abt. 5, Teil 6, H. 2, Lief. 41, 312—317. 1921. — 10. Ders.: Farbenlehre. Asher und Spiro. Ergebn. d. Physiol. **20**. 1922. — 11. **Kühn, A.** u. **Pohl, R.:** Dressurfähigkeit der Bienen auf Spektrallinien. Naturwissenschaften H. 37. 1921. — 12. **Kühn, A.:** Versuche über das Unterscheidungsvermögen der Bienen und der Fische für Spektrallichter. Nachr. v. d. Kgl. Ges. d. Wiss., Göttingen, Math.-physik. Klasse. 1923. — 13. Ders.: Zum Nachweis des Farbenunterscheidungsvermögens der Bienen. Naturwissenschaften. 1924. — 14. **Laurens, H.** and **Hamilton, W. F.:** The sensibility of the Eye to differences in wave-length. Americ. Journ. of physiol. **65**. 1923. — 15. **Schiemenz, Fr.:** Über den Farbensinn der Fische. Zeitschr. f. wiss. Biol., Abt. C. (f. vergl. Physiol.) **1**, H. 1/2, 175—220. 1924.

Lebenslauf.

Ich, Hans Ludwig Gustav Wilhelm Wolff, bin am 25. Mai 1902 als Sohn des Rechtsanwalts Dr. Otto Wolff in Altona geboren. Nach dreijährigem Besuch der Vorschule trat ich Ostern 1911 in die Sexta des Altonaer Reformrealgymnasiums ein, das ich Februar 1920 mit dem Zeugnis der Reife verließ. Ich entschloß mich zum juristischen und staatswissenschaftlichen Studium und weilte im Sommer 1920 zu dem Zwecke an der Universität Tübingen, im Winter 1920/21 an der Hamburgischen Universität. Von Ostern 1921 ab dagegen studierte ich Philosophie und Naturwissenschaften, in erster Linie Biologie. Von Frühjahr 1921 bis Herbst 1922 bezog ich die Universität Freiburg/Br. und verdanke daselbst den Herren Professoren J. Cohn, Himstedt, Husserl, Oltmanns, Spemann, Stark und Wieland vielfache Anregung. Von Herbst 1922 ab studierte ich, unter Hinzuziehung der Geographie, in Göttingen. Daselbst verdanke ich den Herren Professoren Bitter, Burgeff, Kühn, Meinardus, Stille, Wagner, v. Wettstein und Windaus meine weitere wissenschaftliche Ausbildung. Unter der Anleitung von Herrn Professor Kühn entstand die vorgedruckte Arbeit.

Hans Wolff.